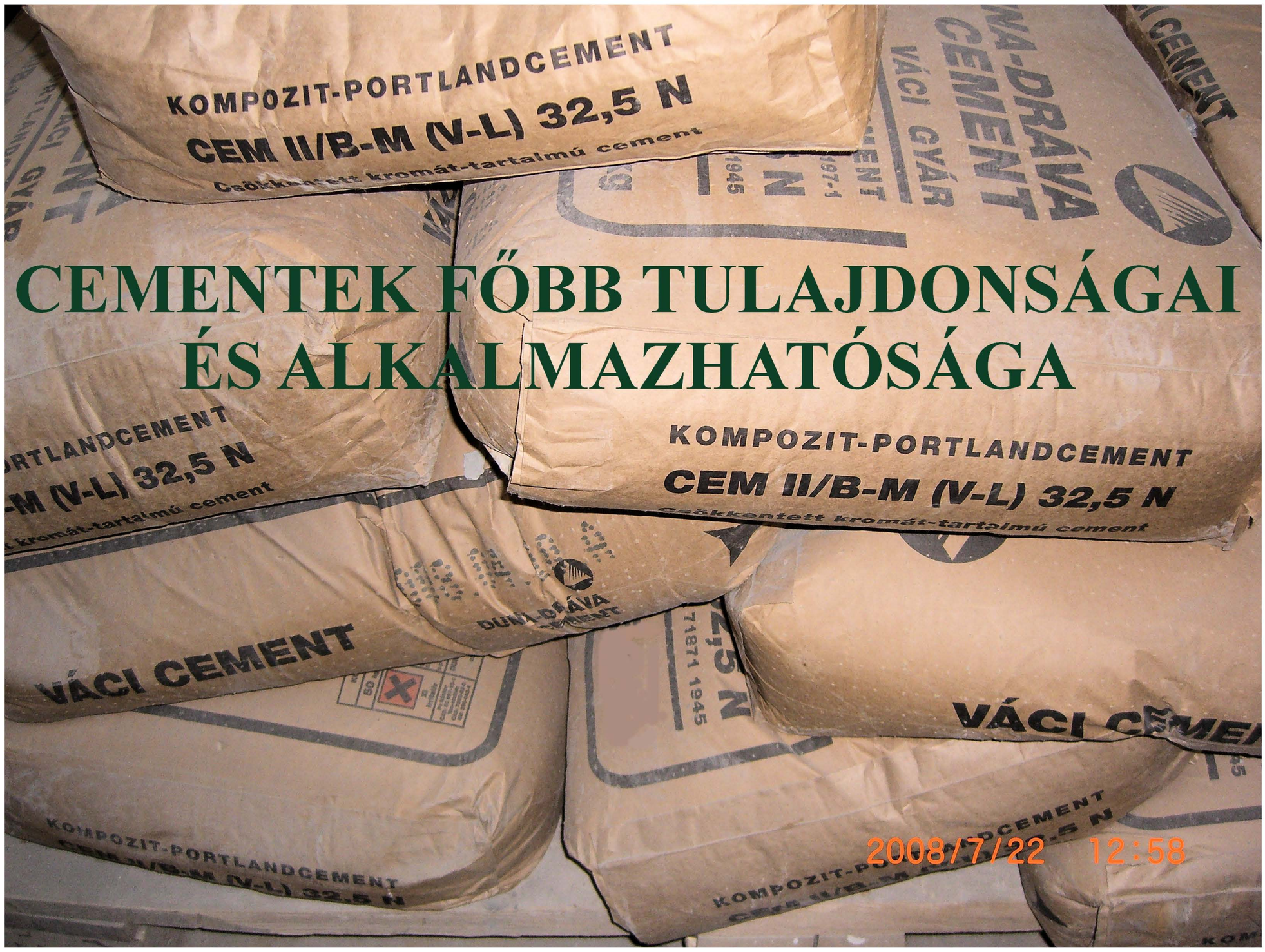
Kötőanyagok témaköre	
Aluminátcement-betonok tartóssága **Talabér József** MTA-doktori tézisei. 1991. *(1992. október)* **Lásd: PÁLYATÁRSAK-írásai**	
Aluminátcementekkel kapcsolatos kutatások **Révay Miklós** előadása *(1998. november)* **Lásd: PÁLYATÁRSAK-írásai**	
Cementek főbb tulajdonságai és alkalmazhatósága *(2008. július)*	
Cement gyártása. Kötőanyagok 3. Fogalom *(2008. december)*	
Cement hidratációja. Kötőanyagok 5. Fogalom *(2009. február)*	
Fajlagos felület	Szemmegoszlási jellemzők grafoanalitikus számításmódja *(2001. január)*
	Fogalom *(2001. június)*
Cementek alkalmazása korrozív környezetben - XA, XA(H) és XD környezeti osztályokban - lévő betonokhoz, illetve vasbetonokhoz *(2016. augusztus)*	
Cementek alkalmazása **1953**-ban. Az Építésügyi Minisztérium utasítása *(2016. január)*	
Cementek környezeti osztályok szerinti alkalmazása **2010**-ben. BME kutatási jelentéshez készült *(2015. március)*	
Cementek környezeti osztályok szerinti alkalmazása **2015**-ben. Szabványosítási javaslat *(2015. április)*	
Gyengén hidraulikus kötőanyagok: Hidraulikus mész, románcement (római cement, románmész), kőművescement, mészpuccolán. Kötőanyagok 2. Fogalom *(2008. december)*	
Klinkerásványok. Kötőanyagok 4. Fogalom *(2008. december)*	
Kötési idő *(2002. április)*	
Levegőn szilárduló szervetlen kötőanyagok fogalma. Kötőanyagok. 1. *(2005. szeptember)*	
Őrlési finomság	Fogalom *(2001. július-augusztus)*
	Laboratóriumi ismeret *(2002. április)*
Spránitz Ferenc - Kopecskó Katalin - Laczkó László - Balázs L. György: Hosszú élettartamú betonok kötőanyagának kiválasztása kor-tényező, kémiai és porozimetriai adatok alapján *(**2024.** október)* **Lásd: PÁLYATÁRSAK-írásai**	
Szabványos folyósság *(2002. április)*	
Víz-cement tényező, víz/cement tényező. Fogalom *(2009. február)*	



CEMENTEK FŐBB TULAJDONSÁGAI ÉS ALKALMAZHATÓSÁGA

Cementek főbb tulajdonságai és alkalmazhatósága

A beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezet építése során felhasználásra kerülő

- cementek fajtáját (CEM I portlandcement, CEM II összetett portlandcement, CEM III kohósalak cement);
- CEM II ÉS CEM III fajtájú cementek fő alkotórészei összetételének tömegarányát (A, B);
- CEM II fajtájú cementek fő alkotórészeit a portlandcement klinkeren (K) kívül (S granulált kohósalak, V savas jellegű pernye, P trasz;
- cementek szilárdsági osztályát (32,5 N, 32,5 R, 42,5 N, 42,5 R, 52,5 N, 52,5 R);
- cementek különleges tulajdonságait (pl. S szulfátálló, MS mérsékelten szulfátálló)

a cement mechanikai, fizikai, kémiai tulajdonságai, a szerkezet tervdokumentációja, a szerkezeti részre előírt MSZ 4798-1 szerinti betonminőség, az építés (kivitelezés) körülményei (pl. a beton szállítási távolsága, bedolgozása, időjárás), az MSZ 4798-1 cementekkel kapcsolatos előírásai és ajánlásai alapján a beton összetételét tervező *betontechnológus* határozza meg, és a betontechnológiai utasításban rögzíti.

A beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek és hídszerkezetek, valamint egyéb műtárgyak — átereszek, támfalak stb. — betonjaihoz elsősorban MSZ EN 197-1 szerinti, általános felhasználású CEM I fajtájú portlandcementet, CEM II fajtájú összetett portlandcementet és CEM III fajtájú kohósalakcementet, valamint MSZ 4737-1 szerinti szulfátálló (S) és mérsékelten szulfátálló (MS) különleges cementeket szabad használni.

Az alkalmazott cement szilárdsági osztálya előnyösen 32,5 vagy 42,5, de indokolt esetben 52,5, különleges esetben pedig 22,5 is lehet. A cement szilárdulási üteme a betonozás körülményeitől és a beton kívánt korai viselkedésétől függően normál (N), nagy kezdőszilárdságú (R) vagy kis kezdőszilárdságú (L) legyen.

CEM II fajtájú 32,5 szilárdsági osztályú portlandcementet legfeljebb C40/50 nyomószilárdsági osztályú beton készítéséhez ajánlatos használni.

Feszített vasbeton szerkezetek készítéséhez CEM I vagy CEM II R fajtájú cementet előnyös használni, utófeszített vasbeton szerkezetek készítéséhez CEM II N fajtájú cement is használható.

Vasbetonba való alkalmazásra a CEM III/A 32,5 jelű kohósalakcement legfeljebb C40/50 beton-nyomószilárdsági osztályig, a CEM III/B 32,5 N-S jelű szulfátálló kohósalakcement legfeljebb C35/45 beton-nyomószilárdsági osztályig javasolható.

CEM III fajtájú kohósalakcementet feszített vasbeton készítéséhez nem szabad használni.

A CEM III/A 32,5 N kohósalakcement mérsékelt kezdőszilárdságú, jelentős utószilárdulású, kishőfejlesztésű cement. Szulfátállósága jelentős, zsugorodási és repedési hajlama csekély. Javasolható mérsékelten agresszív szulfáthatásnak (talajvíz: $\leq$ 3000 mg/liter szulfátion-tartalom, talaj: $\leq$ 12000 mg/liter szulfátion-tartalom) kitett, XA2 környezeti osztályú szerkezetek betonozásához, tömegbetonok és vízépítési betonok készítéséhez. Egyike a legtöbb kloridiont megkötő cementeknek, ezért alkalmazása olvasztósó hatásának kitett vasbetonszerkezetek készítéséhez mind természetes szilárdítás, mind gőzölés esetén különösen előnyös. Tulajdonságait az MSZ EN 197-1 szabvány tárgyalja.

A hazai gyártású, MSZ EN 197-1 szerinti CEM III/B 32,5 N kohósalakcement megfelel az MSZ 4737-1 szabványban előírt szulfátállósági követelménynek is, tehát viselheti a CEM III/B 32,5 N-S jelet is. A megfelelőségi tanúsítvány mindkét szabványnak való megfelelőség igazolását tartalmazza. A CEM III/B 32,5 N-S kohósalakcement kis kezdőszilárdságú, nagy végszilárdulású, kishőfejlesztésű cement. Szulfátállósága jelentős, zsugorodási és repedési hajlama csekély. Javasolható erősen agresszív szulfáthatásnak (talajvíz: $\leq$ 6000 mg/liter szulfátion-tartalom, talaj: $\leq$ 24000 mg/liter szulfátion-tartalom) kitett, XA3 környezeti osztályú szerkezetek betonozásához, tömegbetonok és vízépítési betonok készítéséhez. Tulajdonságait az MSZ EN 197-1 és az MSZ 4737-1 szabvány tárgyalja.

A kis kezdőszilárdságú, CEM III fajtájú, 32,5 L, 42,5 L, 52,5 L szilárdsági osztályú kohósalakcementek tulajdonságait az MSZ EN 197-4 szabvány írja le.

Az általános felhasználású kis hőfejlesztésű közönséges cementekkel (jele LH) az MSZ EN 197-1/A1 szabványmódosítás foglalkozik.

Tömegbetonok, például gátak, hídfők és egyéb kis felület/térfogat hányadosú mélyépítési szerkezeti elemek készítése céljára a VLH jelű, 22,5 szilárdsági osztályú, MSZ EN 14216 szerinti nagyon kis hőfejlesztésű különleges cementek alkalmazhatók. A 22,5 szilárdsági osztályú, nagyon kis hőfejlesztésű különleges cementeket kizárólag tömegbetonok készítéséhez szabad felhasználni, és a beton nyomószilárdsági osztálya legfeljebb C30/37 lehet. A környezeti osztályokra vonatkozó, MSZ 4798-1 szerinti követelmények a 22,5 szilárdsági osztályú cement cementfajta alkalmazása esetén is fennállnak. Megjegyzés: 22,5 szilárdsági osztályú cementet hazánkban jelenleg nem gyártanak.

A cement feleljen meg a szerkezeti elemek, illetve műtárgyak MSZ 4798-1 szerinti környezeti osztályainak. A környezeti osztályokban alkalmazható cementek fajtáira svéd tapasztalatok alapján az MSZ 4798-1 szabvány NAD F2. táblázata mutat be példát. Elhelyeztek ilyen táblázatot például a németek (DIN 1045-2:2001, Tabelle F.3.1 – F.3.3) és az osztrákok (ÖNORM B 4710-1:2004, Tabelle NAD 10) is az EN 206-1 európai szabványra vonatkozó **n**emzeti **a**lkalmazási **d**okumentumukban (NAD).

Az agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező betonok környezeti osztályának jele: XA1, XA2, XA3 (MSZ 4798-1). Az XA1 környezeti osztályban valamennyi MSZ EN 197-1 szerinti CEM II fajtájú kohósalakportlandcement alkalmazható. Az XA2 környezeti osztályban az MSZ 4737-1 szerinti MS jelű mérsékelten szulfátálló portlandcementet, vagy S jelű szulfátálló portlandcementet (pl. CEM I 32,5 R-S), vagy CEM III/A fajtájú MS jelű kohósalakcementet (pl. CEM III/A 32,5 N-MS), vagy CEM III/B szulfátálló kohósalakcementet (pl. CEM III/B 32,5 N-S); az XA3 környezeti osztályban az MSZ 4737-1 szerinti S jelű szulfátálló portlandcementet (pl. CEM I 32,5 R-S), vagy CEM III/B fajtájú szulfátálló kohósalakcementet kell alkalmazni.

A cement és bizonyos adalékanyag kombinációk tartósságához (az alkáli-szilikát és az alkáli-dolomit reakció elkerülésére) a hosszú távú megelőző tapasztalatok hiányában szükséges lehet a következő óvintézkedések egyikének megtétele:

- korlátozni kell a betonkeverék teljes alkálitartalmát;
- kis alkálitartalmú cementet kell alkalmazni;
- korlátozni kell a beton cementtartalmát;
- nem reaktív adalékanyagot kell alkalmazni;
- korlátozni kell a beton vízfelvevő-képességét.

Megjegyzés: További információ található a MSZ CR 1901 „Regionális előírások és ajánlások a beton alkáli-kovasav-reakció okozta károsodásának elkerülésére” című CEN jelentésben.

A 76/769/EEC Irányelv szerint a cement és cement tartalmú készítmények nem használhatók fel, ha hidratált állapotban a cement össztömegére számított 0,0002%-nál nagyobb mennyiségben tartalmaznak vízben oldható Cr(VI)-t. Ezen előírás betartása érdekében a cementgyárak redukáló szert használnak. A megfelelőség a friss betonkeverék esetében (ekkor mérik) csak abban az esetben biztosítható, ha a keverővíz Cr(VI)-tartalma és a cement vízoldható Cr(VI)-tartalma együttesen kevesebb 2 ppm (azaz < 2 milliomod ($2 \cdot 10^{-6}$) rész; < 0,0002 %; pl. < 2 mikrogramm/gramm) értéknél.

A cement kiválasztásánál nem elegendő a beton 28 napos nyomószilárdságra előírt értékét figyelembe venni. A beton tervezéséhez és készítéséhez azok a cementfajták használhatók fel, amelyekre rendelkezésre állnak az 1 évnél nem régebbi 2, 28 és 90 napos *Abrams*-féle betonszilárdság-becslő függvények. Ezeket a betonszilárdság-becslő függvényeket a víz-cement tényező v/c = 0,35 - 1,00 közötti tartományában készített betonkeverékeken kell vizsgálni. Továbbá rendelkezésre kell állnia a beton-nyomószilárdsági adatok mellett a lassú alakváltozásra, azaz a legalább 180 napos zsugorodásra (külön száradási és autogén) és a legalább 180 napos kúszásra vonatkozó vizsgálati eredményeknek.

Az alkalmazandó cement kiválasztásánál fentieken kívül következőket is figyelembe kell venni:

- a készítendő szerkezet technológiáját (pl. feszített szerkezet);
- a szerkezet készítése során és közvetlenül utána várható környezeti körülményeket (pl. évszak, hőmérséklet, koptatás, fagyás és sózás várható időpontja);
- a szerkezet méreteit (hőfejlődés);
- a szerkezet utókezelési lehetőségeit (minél nagyobb a kiegészítőanyag-tartalom, annál hosszabb utókezelés szükséges).

A SZÖVEGBEN EMLÍTETT SZABVÁNYOK

MSZ EN 197-1:2000	Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei. Módosítások: MSZ EN 197-1:2000/A1:2004 és MSZ EN 197-1:2000/A3:2007
MSZ EN 197-4:2004	Cement. 4. rész: Kis kezdőszilárdságú kohósalakcementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei
MSZ EN 14216:2004	Cement. Nagyon kis hőfejlesztésű különleges cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei
MSZ 4737-1:2002	Különleges cementek. 1. rész: Szulfátálló cementfajták
MSZ 4798-1:2004	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ CR 1901:2000	Regionális előírások és ajánlások a beton alkáli-kovasav-reakció okozta károsodásának elkerülésére. CEN jelentés
DIN 1045-2:2001	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
ÖNORM B 4710-1:2004	Beton. Teil 1.: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1)

Kötőanyagok III. Hidraulikus kötőanyagok:
Cement 1.

Németül:	Hydraulische Bindemittel: Zement
Angolul:	Hydraulic binding materials: Cement
Franciául:	Liants hydraulique: Ciment

A cement finomra őrölt szervetlen, hidraulikus kötőanyag, amely vízzel összekeverve pépet alkot, és hidratációs folyamatok eredményeképpen levegőn vagy víz alatt megköt és megszilárdul, a szilárdulás után víz alatt is megtartja a szilárdságát és stabilitását. A cement vízzel ❖ és adalékanyaggal ❖, esetleg adalékszerrel ❖ és kiegészítőanyaggal ❖ megfelelő arányban összekeverve bizonyos ideig bedolgozható, és meghatározott időtartam után előírt szilárdságú és tartósan térfogatálló betont ❖ vagy habarcsot ❖ képez (MSZ EN 197-1:2000).

Az MSZ EN 197-1:2000 szerinti cement jele CEM, és általános felhasználású cementnek (németül: Normalzement; angolul: common cement; franciául: ciment courant) is nevezik, de nevezhetnénk közönséges cementnek vagy normálcementnek is. A CEM jelű cement hidraulikus szilárdulását elsősorban a kalcium-szilikátok ❖ hidratációja ❖ okozza, – tehát ún. *szilikátcement* –, de a szilárdulási folyamatban egyéb klinkerásványoknak ❖ (pl. aluminátoknak) is szerepük lehet. A CEM cementben a reakcióképes kalcium-oxid (CaO) és a reakcióképes szilícium-dioxid (SiO_2) mennyiségének összege legalább 50 tömeg%.

Cementgyártás története

A cementkutatás és gyártás előfutárának *John Smeaton* angol mérnököt (1756) tekintik, aki az eddystonei (sziklás szigetcsoport, zátony a La Manche-csatornában, a plymouthi kikötő bejáratánál) világítótorony építéséhez állított elő hidraulikus meszet {❖ (Kötőanyagok I.)}, miután *Marcus Vitruvius Pollio* (Kr. e. 1. század második fele) római építész és hadimérnök „De architectura" című, tíz kötetes építészeti tanulmánykötetéből merített ötletet. A cement elnevezés a latin „caedere" (természetes kőzet), „caementa" (természetes kőből épült fal), ill. „caementum" (terméskő, megmunkált építőkő) szóból ered. A *cement* szót a kenti grófság tengerpartjának márgáiból románcementet előállító angol *James Parker (1796)*, a *portlandcement* jelzőt a mai értelemben vett cement feltalálójának tartott *Joseph Aspdin* leedsi (Yorkshire, Anglia) kőművesmester vezette be. *Joseph Aspdin* az 1824-ben szabadalmaztatott kötőanyagnak azért adta a portlandcement elnevezést, mert a cement színe és szilárdsága hasonlított a *Portland* környékén (város a Portland-fokon, La Manche-csatorna, Anglia) található mészkő szürke színéhez és szilárdságához (*1. ábra*).

Magyarországon portlandcementet az 1870-es években kezdtek gyártani, az addig románcementet ❖ előállító mogyoróskai (Sáros vármegye), beocsini (Szerém vármegye) és lábatlani cementgyárban. Hazánkban a portlandcement gyártása 1900-ban érte el a románcement gyártásának mennyiségét. Az ipar rohamosan fejlődött, cementgyáraink építésének kezdeti korszaka lényegében az első világháborúval lezárult. A forgókemence jelentette a XX. század legelején a mai értelemben vett portlandcementgyártás kezdetét. A fejlődést a speciális igények kielégítése, a fehér cement (1930), a szulfátálló cement (1937), a heterogén cement (1952), a nagy kezdőszilárdságú (alit) cement (1951) és más, kis mennyiségben igényelt különleges cementek gyártásának bevezetése, az energiatakarékosság (száraz őrlésű nyersliszt), a zsákolt helyett az ömlesztve szállított cement megjelenése, és a programvezérlésű gyártás jelentette.

Mai értelemben *a portlandcement a szilikátcementek azon fajtája*, amelyek portlandcementklinker-tartalma adott határértéket elér. Ez a határérték az MSZ EN 197-1:2000 szabvány szerint általában 65 tömeg% (CEM I és CEM II jelű cementfajták). A portlandcementklinker ❖ elsősorban kalcium-szilikátokból épül fel, és zsugorodási hőmérsékleten (1400 – 1500 °C) égetett féltermék. A portlandcement típusú cementek a zsugorított vagy olvasztott hidraulikus kötőanyagok csoportjába tartoznak, szemben a gyengén hidraulikus kötőanyagokkal ❖, amelyek alapanyagát zsugorodási hőmérséklet (1100 – 1200 °C) alatt égetik. Az *aluminátcementet* is zsugorodási hőmérsékleten égetik, de az aluminátcementklinker alumínium-oxidban dús klinkerásványokból áll, és szilárdulását elsősorban a kalcium-aluminátok hidratációja okozza.

Magyarországon a következő cementgyárak működtek: Beocsin (Vajdaság, 1869 – ma is működik), Nyergesújfalu (1870 körül – 1925), Mogyoróska (mai nevén Škrapské, 1867-1910), Óbuda-Újlak (1880-1929), Gurahonc (Arad vármegye, 1885 körül – nincs adat), Lédec (Trencsén vármegye, 1889-1916), Oravica (Krassó-Szörény vármegye 1893-1905), Brassó (1900 körül – 2000 körül), Zsolna (1900 – nincs adat), Selyp (1907-1983), Bélapátfalva (1908-2000), Podšused (egykor Szomszédváralja, ma Zágráb része, 1908 – nincs adat), Felsőgalla (Tatabánya, 1911-1984), Torda (1914 – ma is működik).

Ma is működő cementgyáraink: Lábatlan (alapítás éve: 1868), Beremend (alapítás éve: 1910), Hejőcsaba (alapítás éve: 1952), Vác (alapítás éve: 1963). Nyergesújfalun új cementgyárat terveznek építeni, amelynek üzembe helyezésével egyidejűleg, várhatóan 2010-ben, a lábatlani cementgyárat bezárják.

Magyarország a trianoni békekötés előtt évi mintegy 1,14 millió tonna cementgyártási kapacitással rendelkezett, de a tényleges termelés nem haladta meg az évi 0,6 millió tonnát. Trianon után a csonka országban megmaradt hét gyár (Felsőgalla, Lábatlan, Nyergesújfalu, Beremend, Bélapátfalva, Újlak és Selyp) kapacitása évi mintegy 0,65 millió tonna, a tényleges cementfogyasztás ennek csak alig negyede (kb. évi 0,15 millió tonna) volt. Hazánkban 1934-ben kb. 0,2 millió tonna, 1943-ban kb. 0,6 millió tonna, 1947-ben kb. 0,2 millió tonna, 1949-ben kb. 0,55 millió tonna, 1962-ben kb. 1,75 millió tonna, 1975-ben kb. 5 millió tonna cementet állítottak elő. 2006-ban a hazai cementfelhasználás mintegy 4,1 millió tonna, cementgyáraink termelési kapacitása mintegy 3,6 millió tonna volt, a kapacitás 2010-re várhatóan meghaladja az 5 millió tonnát.

Cementgyártás

A mai cementek összetételét tudatosan állítják össze, szemben az egykori románcementekkel, amelyek összetétele a márga természet adta összetételétől függött. A cementet mészkő és agyag hozzávetőlegesen 2:1 arányú keverékéből, esetleg az ezeket hordozó márga felhasználásával gyártják. Az agyagot a megtört mészkőhöz vagy márgához adagolják.

Ezt a kiindulási, *nyers keveréket* kiszárítják és malomba megőrlik. Így kapják a száraz *nyerslisztet*, amelyhez szükség szerint összetételt korrigáló anyagokat (pl. piritpörk, homok) adnak. A jól összekevert, korrigált összetételű nyersliszt silóba kerül. Az őrlés során keletkező poros levegőt elszívják, és elektro-filterben portalanítják. A módszert, amelynek alkalmazása során a nyers keveréket szárazon őrlik nyerslisztté, és a nyersliszt por alakban kerül a hőcserélőbe, majd a forgókemencébe, *száraz eljárásnak* nevezik. A korszerű cementgyárak száraz eljárással működnek.

Az ún. *nedves eljárásnál* a nyers keveréket vízzel összekeverik, nedvesen őrlik, és az így keletkező *nyersiszapot* – amely általában 30-40% vizet tartalmaz – közvetlenül adják fel a

forgókemencére. Magyarországon már csak egy régi, bezárásra ítélt kis cementgyár (Lábatlan) dolgozik nedves eljárással.

Cementgyártási sajátosság, hogy a korszerű, száraz eljárással gyártott cementek alkálifémtartalma nagyobb, mint a nedves eljárással gyártott cementeké volt. Ennek az *adalékanyagok alkálifém-oxid reakciója* (egyszerűbben alkáli reakciója) kialakulásának kockázata miatt van jelentősége, amelynek esélye a cementgyártási technológiaváltás folytán az utóbbi időben megnőtt.

A száraz eljárás során égetésre előkészített nyerslisztet a silóból 800-900 °C hőmérsékletű hőcserélőbe vezetik, ahol CO_2 tartalmát elveszti, gyakorlatilag kiég. Ez a kiégetett nyersliszt forgókemencébe kerül, amelyben forgómozgással, enyhén ferde pályán lassan halad a tűz irányába, és tovább hevül. Mintegy 1200 °C (szinterelési, zsugorítási) hőmérsékleten az anyag zsugorodik és képlékeny, folyós konzisztenciájúvá válik. A lejtős pályán a forgás hatására az anyag golyókká áll össze, granulálódik. A *klinkergranulátumot* 1450 °C hőmérséklet elérése után vezetik ki a forgókemencéből, gyorsan lehűtik, majd klinkertárolóba helyezik.

A forgókemence égéstermékeit megtisztítják, majd a hőcserélőhöz visszavezetik. A klinker – a cementtel ellentétben – hosszabb ideig tárolható károsodás nélkül, ezért téli időszakban – számítva a nyári nagyobb felhasználásra – tartalékok képezhetők belőle.

A lehűlt klinkert kismennyiségű *gipsszel* vagy ún. REA-gipsszel {❖ Levegőn szilárduló szervetlen kötőanyagok} és olykor nagymennyiségű *kiegészítő anyaggal*, mint pl. kohósalakkal, pernyével, mészkőliszttel együtt golyós- vagy görgősmalomban megőrlik (*2. ábra*). A gipsszel (vagy REA-gipsszel) a cement kötési idejét ❖ állítják be.

A kiegészítő anyagok a klinkerrel együtt a cement *főalkotórészei*, a gipsz *mellékalkotórésze*. Az *őrlést segítő anyagok* és az őrlésfinomság a cement tulajdonságainak kialakításában játszanak, ill. játszik szerepet.

A cement alapanyaga a cementklinker. A cementklinker mészkő és agyagtartalmú anyagokból állítható elő, ha azokat megfelelő összekeverés és finomra őrlés után 1450 °C-on zsugorodásig égetik. A cement zsákokba csomagolva, vagy ömlesztve jut el a felhasználóhoz.

1. ábra: La Manche-csatorna angliai partja

2. ábra: Cementmalom a Duna-Dráva Cement Kft. Váci Gyárában

Felhasznált irodalom

MSZ EN 197-1:2000 — Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei. Módosították MSZ EN 197-1:2000/A1:2004 szám alatt

Bereczky Endre – Reichard Ernő: A magyar cementipar története. SZIKKTI – CEMŰ – Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1970.

Dolezsai Károly – Pauka Imre: Cementgyártás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1964.

Riesz Lajos: Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1989.

Talabér József (szerk.): Cementipari Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1966.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2007. december havi számának 18-19. oldalán

Kötőanyagok V. Hidraulikus kötőanyagok: Cement 3. Hidratáció

Németül:	Hydraulischese Bindemittel: Zement, Hydratation
Angolul:	Hydraulic binding materials: Cement, hydration
Franciául:	Liants hydraulique: Ciment, hydratation

A cementet ⁘, illetve a betont vízzel keverve (keverővíz ⁘) a vízmentes klinkerásványok ⁘ felhasadnak, és a keverővíz egy részét hidroxilgyök alakjában megkötik. Ez a folyamat a *hidratáció*, amelynek során oldhatatlan, szilárd hidráttermékek keletkeznek. A klinkerásványok mindegyike reagál a vízzel, de egymással nem lépnek reakcióba. A hidratáció csak vízzel hozható létre, a cement más folyadékkal keverve nem szilárdul (*Talabér*, 1966; *Riesz*, 1989). A cementhidratáció modelljét először *Powers, T. C.* fogalmazta meg 1947-ben és 1948-ban már *Brownyard T. L.* társkutatójaként, majd a modellt maga *Powers* és munkatársai (1949, 1953, 1960), továbbá későbbi korok számos kutatója továbbfejlesztette (*Stark – Möser – Eckart*, 2001; *Adam*, 2006; *Nothnagel*, 2007 stb.).

Portlandcement hidratációja

A vízzel való keverést követően kialakuló kalciumhidroxid-kalciumszilikát-kalciumaluminát gélrendszerből szilárd kristályos hidráttermékek válnak ki, és összefüggő vázszerkezetet alkotva kialakul a szilárd cementkő (*1. ábra*). A hidratáció a cementszemcse külső felületén létrejövő gélrétegben indul, és halad fokozatosan a szemcse belseje felé. A cementszemcséknek csak egy vékony, néhány mikrométer (10-15 μm) vastagságú felületi rétege hidratálódik. Minél finomabb őrlésű a cement, annál nagyobb az egységnyi cementtömegre eső felület (fajlagos felület ⁘), következésképpen nagyobb a vízzel érintkező és így a hidratációban résztvevő klinkerásványok részaránya, és bizonyos határig a cement kialakuló kötőereje, szilárdsága. A hidratációs termékek kialakulásához víz és hely kell, ezért ha a víz-cement tényező ⁘ kisebb, mint 0,32-0,36, akkor kellő mennyiségű víz és kapilláris pórus ⁘ hiányában *gátolt hidratáció* lép fel. (*Palotás*, 1979)

A gélréteg kezdetben duzzad, majd vízvesztés közben a cementkővé szilárduló cementpép (cement + víz) zsugorodik. Ha a zsugorodás folytán ébredő húzóerő a még csak kialakulóban lévő húzószilárdságot meghaladja, akkor a cementkő összerepedezik. A zsugorodás ⁘ mértéke és a vele járó repedésképződés ⁘ veszélye a száradás megakadályozásával, a beton gondos utókezelésével ⁘ csökkenthető.

A klinkerásványok ⁘ közül az alit (trikalcium-szilikát) gyorsan, nagyrészt az első 50 nap alatt, a belit (dikalcium-szilikát) lassabban, lényegében 10-90 nap között hidratálódik. A felit (trikalcium-aluminát) kezdetben gyorsan szilárdul, majd néhány nap múlva a szilárdulás leáll, sőt a korábban kialakult szilárdság elvész. A celit (tetrakalcium-aluminát-ferrit) szilárdulása lassú, egyenletesen enyhén emelkedő (*2. ábra*). A hidratáció sebességét a tárolás módja is befolyásolja. A szilikátos alit és belit hidratációjának főterméke a kezdetben csaknem amorf, majd kristályosodó és rendkívül szilárd anyaggá váló kalcium-szilikát-hidrát gél (a kalcium-szilikát-hidrát a természetben, például a Balaton-felvidéken Uzsabányán, vagy a Prága-hegyen is előforduló ásvány, amelynek egyik változata a tobermorit: $5CaO{\cdot}3SiO_2{\cdot}5H_2O$ vagy $Ca_5(OH)_2{\cdot}Si_6O_{16}{\cdot}4H_2O$), melléktermék a szilárdságot nem adó kristályos kalciumhidroxid, az ún. portlandit (*3. ábra*).

1. ábra: Portlandcementkő elektronmikroszkópi felvétele

Az alit (trikalcium-szilikát) több lépcsős hidratáció eredményeként kalcium-szilikát-hidráttá alakul:

$$2\cdot(3CaO\cdot SiO_2) + 7H_2O \rightarrow 3CaO\cdot 2H_2\cdot 2SiO_3\cdot 2H_2O + 3Ca(OH)_2$$

A belit (dikalcium-szilikát) és az alit hidratációja között voltaképpen nincs nagy különbség, mert a végtermék azonos:

$$2\cdot(2CaO\cdot SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO\cdot 2H_2\cdot 2SiO_3\cdot H_2O + Ca(OH)_2$$

Minél nagyobb a kalcium-szilikát-hidrát gélben a Ca/Si arány, annál kisebb a keletkező portlandit mennyisége. A portlandit heterogén cementek esetén kalciumforrásként működik, és további kötőképes kalcium-szilikát-hidrát gél keletkezéséhez vezet.

A felit (trikalcium-aluminát) hidratációjának a folyamat végére kialakuló stabilis végterméke a trikalcium-aluminát-hexahidrát:

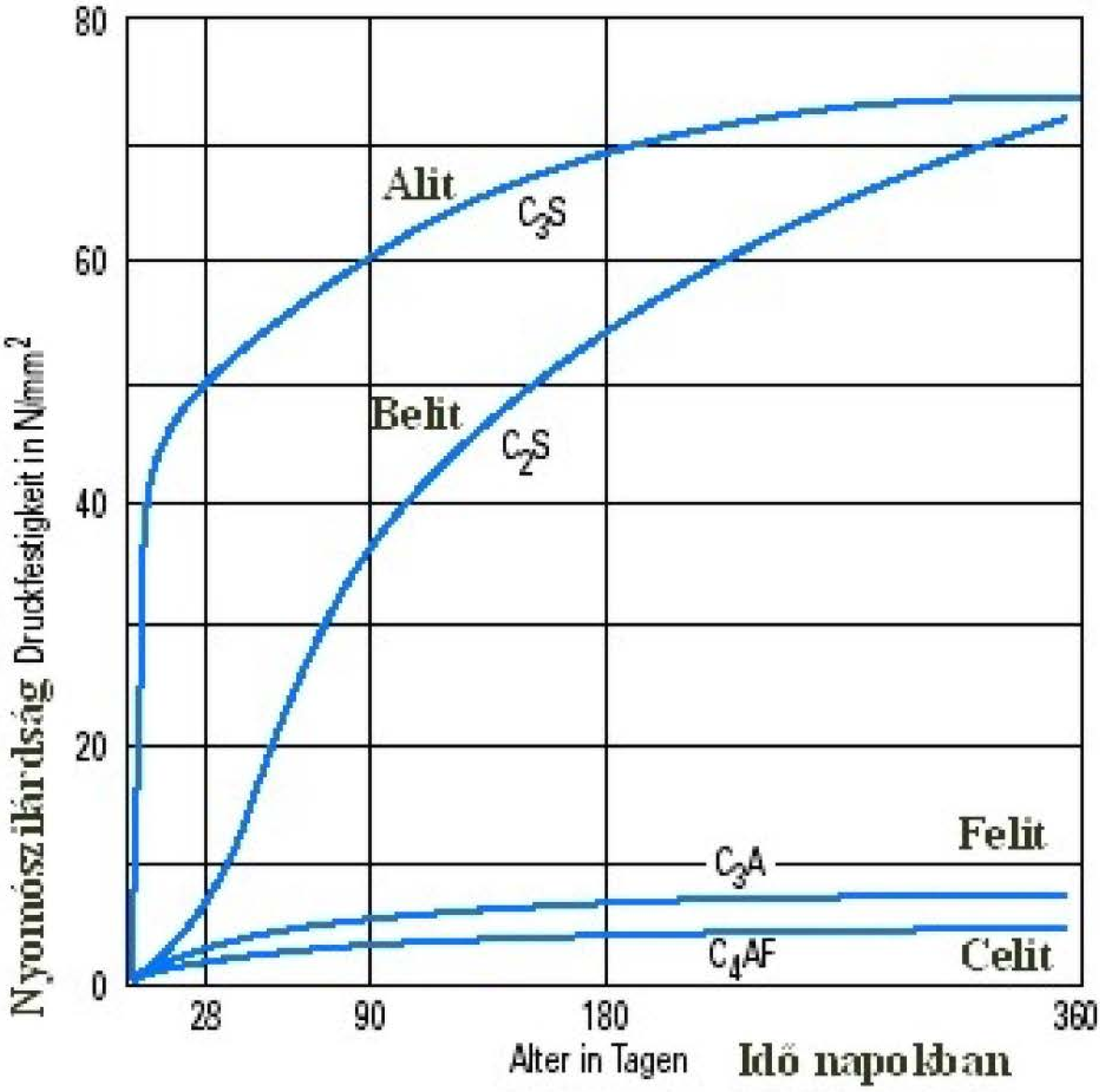
$$2\cdot(3CaO\cdot Al_2O_3) + 21H_2O \rightarrow 2\cdot(3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 6H_2O) + 9H_2O$$

A celit (tetrakalcium-aluminát-ferrit) hidratációja a felitéhez hasonló:

$$3\cdot(4CaO\cdot Al_2O_3\cdot Fe_2O_3) + 30H_2O \rightarrow 3\cdot(3CaO\cdot Fe_2O_3\cdot 6H_2O) + 3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 6H_2O + \\ + 2\cdot(Al_2O_3\cdot 3H_2O)$$

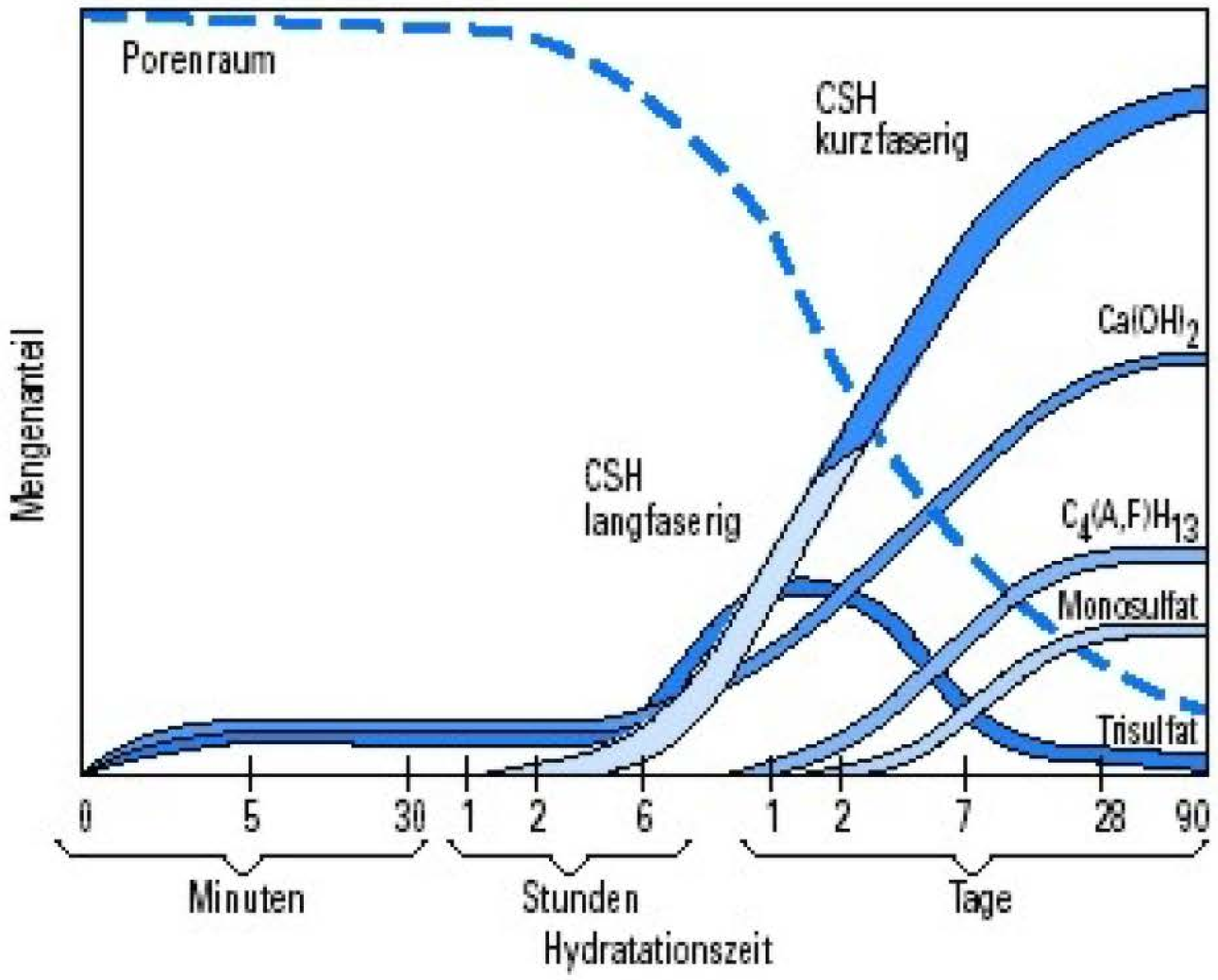
A hidratáció rendkívül bonyolult, összetett folyamat, a fenti összefüggések csak a hidratáció lényegét fejezik ki.

A felit és celit fázist összefoglaló néven „köztes anyag”-nak nevezik, mert a klinker mikroszkópi képén az alit és belit közötti teret tölti ki. Az aluminátos klinkerásványok („köztes anyag”) hidratációját a portlandcementhez kötésszabályozási céllal adagolt gipszkő (kalcium-szulfát, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ❖ befolyásolja, az SO_3 kén-trioxid beépül az aluminát fázisba. A hidratáció során a trikalcium-aluminát kalciumszulfát jelenlétében – melléktermék nélkül – főtermékként kalcium-aluminát-szulfátokká, a természetben is előforduló *ettringitté*, másnéven *triszulfáttá* ($6CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SO_3 \cdot 32H_2O$) és a természetben elő nem forduló ún. *monoszulfáttá* ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SO_3 \cdot 12H_2O$) alakul. Sok gipsz jelenlétében ettringit (ezt elsődleges ettringit képződésnek nevezik), kevés jelenlétében monoszulfát képződik, és ezek a trikalcium-aluminát és a szulfátionok arányának függvényében kölcsönösen átalakulhatnak egymásba. Sok szulfát hatására a monoszulfát ettringitté alakul át, sok trikalcium-aluminát hatására pedig fordítva. A ferritfázis hidratációja során is főtermékként ettringit és monoszulfát keletkezik, csak az alumínium egy részét vas helyettesíti, és a melléktermék alumíniumhidroxid. Későbbi külső szulfátforrás hatására a monoszulfát a betonban ettringitté alakulhat (ez a másodlagos ettringit képződés), ez az átalakulás térfogat növekedéssel jár, és káros duzzadást okoz (ezt szulfátkorróziónak hívják). (*Riesz*, 1989)



2. ábra: Klinker fázisok hidratációs termékének szilárdulási folyamata.
A hidratációs termékek (hidrátok) szilárdsága az idő függvényében.
(*Bogue, R. H.* és *Lerch, W.* után)

Forrás: *vdz.*, 2008.



3. ábra: Hidrát termékek képződése

Hydratationszeit = Hidratációs idő
Minuten = Percek
Stunden = Órák
Tage = Napok
Mengelanteil = Részarány
Porenraum = Pórustérfogat
CSH kurzfaserig = rövidszálú...
CSH langfaserig = hosszúszálú kalcium-szilikát-hidrát
$C_4(A,F)H_{13}$ = Celit
Forrás: *vdz.*, 2008.

Adam-nál (2006) olvashatjuk, hogy *Powers* és *Brownyard* (1947-1948) szerint 1 g cement legfeljebb $M_{v,n} = 0{,}23$ g el nem gőzölhető vizet ❖ köt meg (víz-cement tényezővel kifejezve $x_{\text{el nem gőzölhető}} = 0{,}23$). *Ez kevesebb, mint a teljes hidratációhoz szükséges víz, amely mint látni fogjuk 1 g cementre vetítve* $x_{0,min} = 0{,}36$ *g, illetve* $x_{0,min}' = 0{,}42$. Ha az el nem gőzölhető víz sűrűsége nagyobb a kapilláris víz sűrűségénél ($\rho_{v,szabad} = 1{,}00$ g/cm^3) és értéke $\rho_{v,n} =$ $= 1{,}35$ g/cm^3, akkor ennek reciproka az el nem gőzölhető víz fajlagos térfogata: $v_{v,n} =$ $= 0{,}74$ cm^3/g. Ha a cement sűrűsége $\rho_c = 3{,}125$ g/cm^3, akkor ennek reciproka a cement fajlagos térfogata: $v_c = 0{,}32$ cm^3/g. Teljes hidratáció esetén az 1 g cementkőben lévő el nem gőzölhető víz térfogata:

$$V_{v,n} = M_{v,n} \cdot v_{v,n} = 0{,}23 \cdot 0{,}74 = 0{,}17 \text{ cm}^3/\text{g}$$

Az 1 g cementből képződő hidratációs szilárd fázis térfogata a cement térfogatának és az el nem gőzölhető víz térfogatának az összege:

$$V_{hc} = V_c + V_{v,n} = 0{,}32 + 0{,}17 = 0{,}49 \text{ cm}^3/\text{g}$$

Ha 1 g cementből 0,49 cm^3/g hidratációs szilárd fázis képződik, akkor 1 cm^3 cementből képződő szilárd fázis térfogata $V_{hc}/v_c = 0{,}49/0{,}32 = 1{,}531$ cm^3/cm^3.

(Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a német szakirodalomban előfordul, hogy a szilárd fázist nevezik cementgélnek → Zementgel.)

A cement hidratációs termékeinek összege alkotja a szilárd fázist és a cementgélt. A hidratációs cementgél gélpórusokat tartalmaz. Olykor a cementgélt egyszerűen gélpórusnak nevezik, értve alatta a pórusos cementgélt. (A gélpórusok átmérője kisebb, mint 0,01 μm, de feltétlenül kisebb, mint 0,1 μm; a pórusméretek megadása szerzőnként eltérő lehet). A cementkő térfogata a szilárd fázis és a gélpórusokat tartalmazó cementgél térfogatának összege. (Ha a vízadagolás, illetve víztartalom nem nagyobb, mint amennyi víz a teljes hidratációhoz szükséges, és az el sem tud párologni, akkor $V_{kapilláris}$ kapilláris pórusok nem keletkeznek, illetve nem törvényszerű, hogy keletkezzenek. Ezeket a kapilláris pórusokat nem szabad összetéveszteni a $V_{zsugorodási}$ zsugorodási pórusokkal.)

A modellalkotók feltételezték továbbá, hogy a 1 cm^3 cementkő kb. v_{GP} = 0,28 cm^3 cementgélből és (1 - v_{GP}) = 0,72 cm^3 hidratációs termékből áll. Ha 1 cm^3 cementből V_{hc}/v_c = = 1,531 cm^3/cm^3 hidratációs termék (cementgél) keletkezik, és ez a cementkő térfogatának (1 - v_{GP}) = 0,72 része, akkor az 1 cm^3 cementből képződő cementkő térfogata (X):

$$X = \frac{V_{hc}/v_c}{1-v_{GP}} = \frac{V_{hc}}{v_c\cdot(1-v_{GP})} = \frac{V_c + V_{v,n}}{v_c\cdot(1-v_{GP})} = \frac{0{,}32+0{,}17}{0{,}32\cdot(1-0{,}28)} = \frac{1{,}531}{0{,}72} = 2{,}126 \quad cm^3/cm^3$$

Tehát 1 cm^3 cement teljes hidratációja során a keletkező cementkő (cementgél + gélpórus) térfogata 2,126 cm^3. Ha feltételezzük, hogy a keletkező cementkő térfogata a hidratációs fokkal arányos, akkor az előbbi összefüggés a *hidratációs fok* (α) függvényében (teljes hidratáció esetén $\alpha = \alpha_\infty = 1$) a következő alakot ölti :

$$X_a = \frac{\alpha\cdot V_{hc}/v_c}{1-\alpha\cdot v_{GP}} = \frac{\alpha\cdot V_{hc}}{v_c\cdot(1-\alpha\cdot v_{GP})} \quad cm^3/cm^3$$

Ha 1 cm^3 cement teljes hidratációjából X = 2,126 cm^3/cm^3 térfogatú cementkő képződik, akkor 1 g tömegű cementből $X/\rho_c = v_c{\cdot}X$ = 0,32·2,126 = 0,68 cm^3/g térfogatú cementkő lesz. Az 1 g tömegű cement teljes hidratációhoz szükséges víz mennyisége az 1 g tömegű cementből keletkező cementkő térfogatának és az 1 g tömegű cement térfogatának különbségeként írható fel, és a teljes hidratációhoz szükséges minimális víz-cement tényezőként ($x_{0,\,min}$) értelmezhető, ha a próbatestet az utókezelés alatt többlet vízhez juthat:

$$x_{0,min} = v_c{\cdot}X - v_c = v_c{\cdot}(X - 1) = 0{,}68 - 0{,}32 \equiv 0{,}32{\cdot}(2{,}126 - 1) = 0{,}36 \text{ g/g}$$

A kémiai zsugorodás folytán a hidratáció során zsugorodási pórusok ($V_{zsugorodási}$) jönnek létre. Ha teljes hidratáció esetén az 1 g cement által megkötött, el nem gőzölhető víz tömege $M_{v,n}$ = 0,23 g/g, akkor ennek a víznek a térfogata keverővíz alakjában $V_{v,szabad} = M_{v,n}/\rho_{v,szabad}$ = 0,23/1,00 = 0,23 cm^3/g, és el nem gőzölt víz alakjában $V_{v,n} = M_{v,n}/\rho_{v,n}$ = 0,23/1,35 = = 0,17 cm^3/g. Az 1 g tömegű cement teljes hidratációja esetén létrejövő $V_{zsugorodási}$ zsugorodási pórusok térfogata a hidratációhoz szükséges el nem gőzölt víz térfogat-csökkenéséből adódik:

$V_{zsugorodási} = V_{v,szabad} - V_{v,n} = (M_{v,n}/\rho_{v,szabad}) - (M_{v,n}/\rho_{v,n}) = M_{v.n}{\cdot}\{(1/\ v_{v,szabad}) - (1/\ v_{v,n})\}=$
$= 0{,}23 - 0{,}17 \equiv 0{,}23/1{,}00 - 0{,}23/1{,}35 = 0{,}23{\cdot}(1{,}00 - 0{,}74) = 0{,}23{\cdot}0{,}26 = 0{,}06 \text{ cm}^3/\text{g}$

Ha 1 g tömegű cement teljes hidratációjakor $V_{zsugorodási,M}$ = 0,06 cm^3/g térfogatú zsugorodási pórusok keletkeznek, akkor ezeknek a pórusoknak a térfogata 1 cm^3 térfogatú cementre vetítve: $V_{zsugorodási,V} = \rho_c{\cdot}\ V_{zsugorodási,M}$ = 3,125·0,06 = 0,188 cm^3/cm^3.

A vízfelszívástól és párologtatástól fóliatakarással védett („konzervált”) próbatest zsugorodási pórusai levegővel telnek meg. Ha azonban a próbatestet víz alatt tárolják, akkor próbatest zsugorodási pórusai vizet szívnak fel. Ha a víz alatt tárolt próbatest a teljes hidratációhoz szükségesnél ($x_{0,min}$' = 0,42) kisebb x_0 víz-cement tényezővel készült, akkor a pótlólagosan felszívott víz a készítéskori kis víz-cement tényező ($x_0 < x_{0,min}$') ellenére lehetővé teheti a teljes hidratációt. A teória szerint ebben az esetben az 1 cm^3 cementből képződő cementkő térfogata nem X, hanem $V_{zsugorodási,V}$ térfogattal több:

$X' = X + V_{zsugorodási,V} = X + \rho_c{\cdot}\ V_{zsugorodási,M} = 2{,}126 + 3{,}125{\cdot}0{,}06 = 2{,}126 + 0{,}188 =$
$= 2{,}314 \text{ cm}^3/\text{ cm}^3$

A nagyobb térfogatú cementkő kialakulásához teljes hidratáció esetén nem $x_{0,min}$, hanem $x_{0,min}$' víz mennyiségre van szükség, amit úgy kapunk meg, hogy az $x_{0,min}$ fenti összefüggésébe X helyett X'-t írunk:

$x_{0,min}' = v_c{\cdot}X' - v_c = v_c{\cdot}(X' - 1) = v_c{\cdot}(X + V_{zsugorodási,V} - 1) = 0{,}32{\cdot}(2{,}126 + 0{,}188 - 1) = 0{,}36 +$
$+ 0{,}06 = 0{,}42 \text{ g/g}$

Tehát víz alatt tárolt próbatest esetén az 1 g tömegű cement teljes hidratációhoz felhasznált víz mennyisége, más szóval a teljes hidratációhoz szükséges minimális víz-cement tényező értéke $x_{0,\min}' = 0{,}42$.

Ha a hidratáció nem teljes, akkor a hidratációs fokhoz ($\alpha \leq 1{,}0$) tartozó víz-cement tényező:

$$x_{0,\min,\alpha}' = \alpha \cdot x_{0,\min}' = \alpha \cdot v_c \cdot (X' - 1) = \alpha \cdot 0{,}42 \leq x_{0,\min}'$$

és az alkalmazott $x_0 \leq x_{0,\min}'$ víz-cement tényezőhöz tartozó hidratációs fok:

$$\alpha = \frac{x_{0,\min,\alpha}'}{v_c \cdot (X' - 1)} = \frac{x_{0,\min,\alpha}'}{0{,}42} \rightarrow \frac{x_0}{0{,}42}$$

Az $x_{0,\min}' = 0{,}42$ értéknél kisebb víz-cement tényezővel (x_0') készült és elegendő pótlólagos vízhez (1,0 g cement esetén: $x_{0,\min}' - x_0$) nem jutó cementkő hidratációja nem lehet teljes. Az $x_0 < x_{0,\min}' = 0{,}42$ víz-cement tényezővel készült és víz alatt tárolt, de elegendő pótlólagos vízhez még sem jutó cementkő hidratációs foka ($\alpha' \leq 1{,}0$) az

$$x_0 = \alpha' \cdot x_{0,\min}' = \alpha' \cdot (v_c \cdot X' - v_c) = \alpha' \cdot v_c \cdot (X + V_{\text{zsugorodási,V}} - 1) = \alpha' \cdot 0{,}42 \leq 0{,}42$$

összefüggésből legfeljebb:

$$\alpha' = \frac{x_{0,\min,\alpha}'}{v_c \cdot (X + V_{zsugorodási,V} - 1)} = \frac{x_{0,\min,\alpha}'}{0{,}42} \rightarrow \frac{x_0'}{0{,}42}$$

Ha a hidratáció alatt a teljes hidratációhoz szükséges vízből elpárolog, akkor levegő tartalmú kapilláris pórusok maradnak vissza. Ha az alkalmazott x_0 víz-cement tényező a hidratáció α fokához szükségesnél nagyobb ($x_0 > \alpha \cdot x_{0,\min}'$), akkor törvényszerű a $V_{\text{kapilláris}}$ fajlagos térfogatú kapilláris pórusok keletkezése, mert az (x_0 - $\alpha \cdot x_{0,\min}'$) vízfelesleg el fog párologni. {A kapilláris pórusok átmérője nagyobb, mint 0,01 μm, de feltétlenül nagyobb, mint 0,1 μm és kisebb, mint 40 μm, de feltétlenül kisebb, mint 150 μm (a pórusméretek megadása szerzőnként eltérő lehet)}. A kapilláris pórusok fajlagos térfogatát cm^3/cm^3 mértékegységben az 1 g cementre vetített (x_0 - $\alpha \cdot x_{0,\min}'$) cm^3/g térfogatú vízfeleslegnek és a cement és keverővíz térfogatösszegének ($v_c + x_0$) cm^3/g a hányadosa adja:

$$V_{kapilláris} = \frac{x_0 - \alpha \cdot x_{0,\min}'}{v_c + x_0} = \frac{x_0 - \alpha \cdot v_c \cdot (X' - 1)}{v_c + x_0} = \frac{x_0 - \alpha \cdot 0{,}42}{0{,}32 + x_0} \quad cm^3 / cm^3$$

Ha a cementkő 1 cm^3 térfogatából levonjuk a kapilláris pórusok fajlagos térfogatát, akkor a cementkő tömörségét (mértékegység nélkül) kapjuk:

$$t = 1 - V_{kapilláris} = 1 - \frac{x_0 - \alpha.0{,}42}{0{,}32 + x_0} = 1 - \frac{3{,}125 \cdot x_0 - 1{,}3125 \cdot \alpha}{1 + 3{,}125 \cdot x_0} = \frac{1 + 1{,}3125 \cdot \alpha}{1 + 3{,}125 \cdot x_0}$$

A cementkő porozitása (mértékegység nélkül):

$$p = 1 - t = V_{\text{kapilláris}}$$

A teljesen hidratált cementkő pórusarányai a hidratációhoz rendelkezésre álló víz-cement tényező függvényében a *4.* és az *5. ábrán* láthatók.

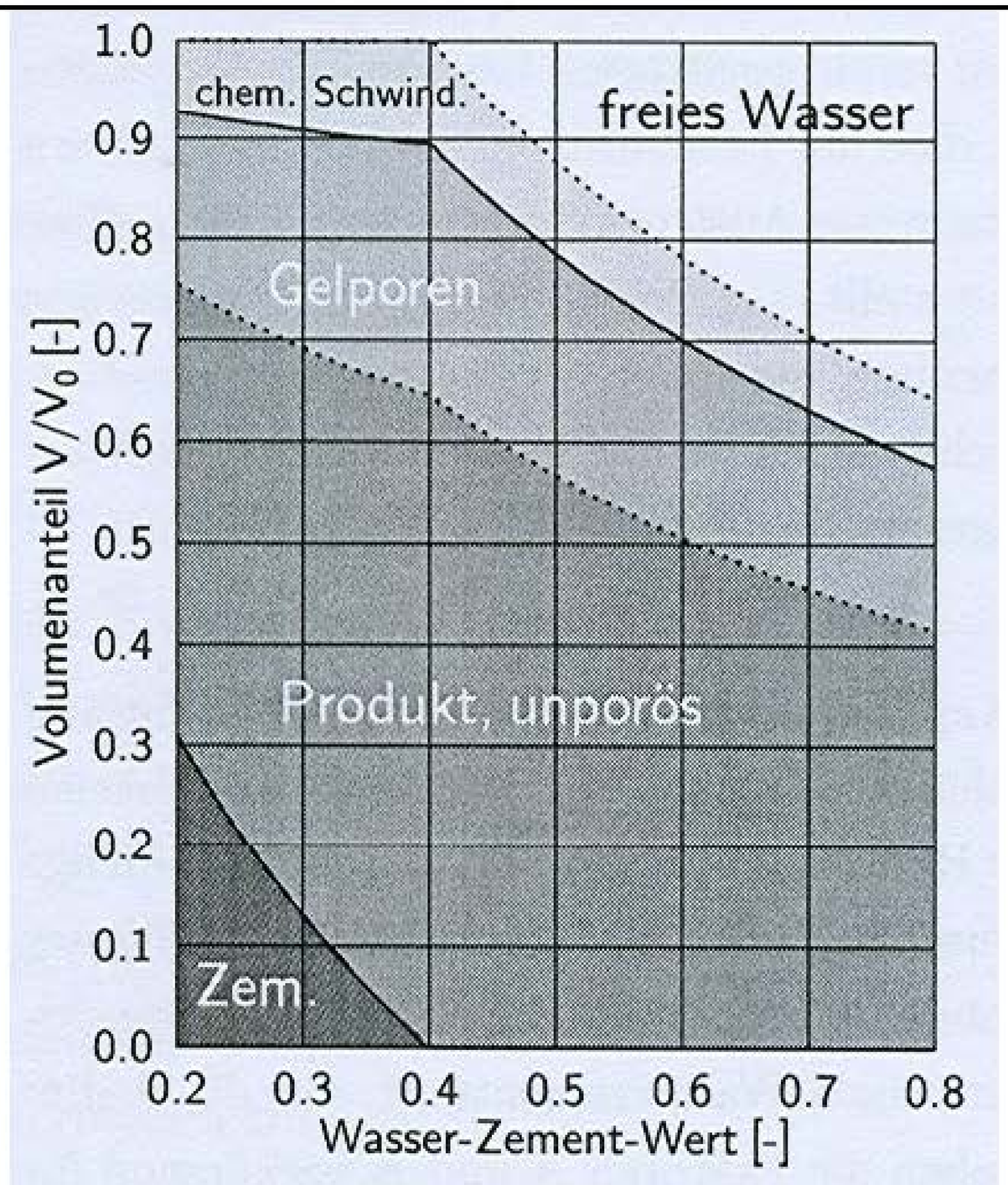
A cement hidratáció *Powers* és *Brownyard* féle modelljének fenn ismertetett verziója *Adam* (2006) akadémiai doktori értekezésében található. Az értekezést olvasva lépésről lépésre követhető a modell-alkotó cement kutatók gondolkodás módja. A modell főbb elveit és a számítások eredményét hasznos lehet összefoglalni:

- A cementkő térfogata a teljes hidratáció állapotában kapilláris pórusokat nem tartalmaz, hanem a szilárd fázis és a gélpórusokat tartalmazó cementgél térfogatának összege.
- A cement teljes hidratációjában el nem gőzölhető és elgőzölhető víz is részt vesz, következésképpen a gélpórusokban elgőzölhető víz is van.
- Az el nem gőzölhető víz sűrűsége a belső nyomás folytán $\rho_{v,n} = 1{,}35$ g/cm^3, tehát 1 g = = 1 cm^3 térfogatú keverővíz fajlagos térfogata a cementkőbe beépülve $v_{v,n} = 1/1{,}35 =$ = 0,74 cm^3/g lesz. E tekintetben nem tesznek különbséget az el nem gőzölhető víz és a gélvíz között.
- 1 g cement legfeljebb $M_{v,n} = 0{,}23$ g/g el nem gőzölhető vizet köt meg (víz-cement tényezővel kifejezve $x_{\text{el nem gőzölhető}} = 0{,}23$). Ez kevesebb, mint a teljes hidratációhoz szükséges víz, amely 1 g cementre vetítve $x_{0,\min} = 0{,}36$ g/g, ha a próbatestet az utókezelés alatt vízhez jut.
- 1 g cement által teljes hidratáció során megkötött el nem gőzölhető víz térfogata a cementkőben $V_{wn} = 0{,}17$ cm^3/g.
- 1 g cementből teljes hidratáció során képződő hidratációs szilárd fázis térfogata $V_{hc} =$ = 0,49 cm^3/g.
- 1 cm^3 cementből teljes hidratáció során képződő hidratációs szilárd fázis térfogata $V_{hc}/v_c = 1{,}53$ cm^3/cm^3.
- 1 cm^3 cement teljes hidratációjából képződő cementkő (szilárd fázis + cementgél) térfogata $X = 2{,}13$ cm^3/cm^3.
- A teljes hidratációhoz szükséges minimális készítési víz-cement tényező – ha a próbatestet az utókezelés alatt vízhez jut – $x_{0,\min} = 0{,}36$.
- 1 g tömegű cement teljes hidratációjakor $V_{\text{zsugorodási,M}} = 0{,}06$ cm^3/g térfogatú zsugorodási pórus keletkezik. Ezeknek a pórusoknak a térfogata 1 cm^3 térfogatú cementre vetítve: $V_{\text{zsugorodási,V}} = \rho_c \cdot V_{\text{zsugorodási,M}} = 3{,}125 \cdot 0{,}06 = 0{,}188$ cm^3/cm^3.
- A vízfelszívástól és párologtatástól fóliatakarással védett („konzervált”) próbatest zsugorodási pórusai levegővel telnek meg. Ha azonban a próbatestet víz alatt tárolják, akkor próbatest zsugorodási pórusai vizet szívnak fel. Víz alatt tárolt próbatest esetén az 1 g tömegű cement teljes hidratációhoz szükséges víz mennyisége $x_{0,\min}' = x_{0,\min} +$ + $V_{\text{zsugorodási,M}} = 0{,}36 + 0{,}06 = 0{,}42$ g/g, más szóval a teljes hidratációhoz szükséges minimális víz-cement tényező értéke $x_{0,\min}' = 0{,}42$.
- Ha a víz alatt tárolt próbatest a teljes hidratációhoz szükségesnél ($x_{0,\min}' = 0{,}42$) kisebb x_0 víz-cement tényezővel készült, akkor a pótlólagosan felszívott víz a készítéskori kis víz-cement tényező ($x_0 < x_{0,\min}'$) ellenére lehetővé teheti a teljes hidratációt. A teória szerint ebben az esetben az 1 cm^3 cementből képződő cementkő térfogata $X' = 2{,}31$ cm^3/ cm^3.
- Ha az alkalmazott x_0 víz-cement tényező a hidratáció α fokához szükségesnél nagyobb ($x_0 > \alpha \cdot x_{0,\min}'$), akkor törvényszerű a $V_{\text{kapilláris}}$ fajlagos térfogatú kapilláris pórusok keletkezése, mert az ($x_0 - \alpha \cdot x_{0,\min}'$) vízfelesleg el fog párologni.
- Teljes hidratációhoz szükséges víz mennyisége a cementnek megközelítőleg mintegy 40 – 42 tömeg%-a (víz-cement tényezővel kifejezve: $x = 0{,}40$ vagy 0,42). E cementkő víztartalma pl. $100 \cdot 0{,}42/(1+0{,}42) = 29{,}6$ tömeg%. A teljesen hidratált cementkő a cementre vetítve mintegy 25 – 26 tömeg% ($x_k = 0{,}25$ vagy 0,26) kémiailag (szerkezetileg) kötött, ún. el nem gőzölhető vizet tartalmaz (az ilyen cementkő kémiailag kötött víztartalma pl. $100 \cdot 0{,}26/(1+0{,}26) = 20{,}6$ tömeg%), míg a víz másik része a fizikailag kötött, elgőzölhető víz (pórusvíz) 15 – 16 tömeg% ($x_f = 0{,}15$ vagy 0,16). E cementkő fizikailag kötött víztartalma pl. $100 \cdot 0{,}16/(1+0{,}16) = 13{,}8$ tömeg%.

A fenti $p = V_{\text{kapilláris}}$ képlettel kiszámított kezdeti porozitás (p_0; $\alpha = 0{,}0$), az $\alpha = 0{,}5$ és $\alpha = 0{,}7$ hidratációs fokhoz tartozó közbenső porozitás ($p_{0,5}$; $p_{0,7}$) értékeit, valamint a porozitás értékeit a hidratációs egyensúlyi végállapotban ($p_{0,85}$; $\alpha = 0{,}85$) az *1. táblázatban* mutatjuk be. Megjegyezzük, hogy *Palotás* (1979) *Powersre* hivatkozva az egyensúlyi végállapothoz tartozó porozitásra könyvének 520. oldalán az *1. táblázatbelieknél* sokkal nagyobb értékeket ad meg.

1. táblázat: Cementkő porozitása (p_α) kezdeti, közbenső és egyensúlyi végállapotban a víz-cement tényező (x_0) és a hidratáció fokának (α) függvényében a fenti $p = V_{\text{kapilláris}}$ képlet alapján

x_0	0,36	0,39	0,42	0,45	0,50	0,55	0,60
p_0 (ha $\alpha = 0{,}0$)	0,529	0,549	0,568	0,584	0,610	0,632	0,652
$p_{0,5}$ (ha $\alpha = 0{,}5$)	0,221	0,254	0,284	0,312	0,354	0,391	0,424
$p_{0,7}$ (ha $\alpha = 0{,}7$)	0,097	0,135	0,170	0,203	0,251	0,294	0,333
$p_{0,85}$ (ha $\alpha = 0{,}85$)	0,004	0,046	0,085	0,121	0,174	0,222	0,264
Megjegyzés: Az $\alpha = 0{,}5$ hidratációs fok közelítőleg 7 napos kornak, az $\alpha = 0{,}7$ hidratációs fok közelítőleg 28 napos kornak felel meg mintegy 70 % relatív nedvességtartalom esetén, *Palotás* (1979) után.							



4. ábra: Teljesen hidratált cementkő pórusarányai a hidratációhoz rendelkezésre álló víz-cement tényező függvényében, ha a próbatest a vízforgalomtól el van zárva

Wasser-Zement-Wert = Víz-cement tényező

Volumenanteil = Térfogatarány

Freies Wasser = Szabad víz, azaz kapilláris pórusok

Chem. Schwind. = Kémiai zsugorodás

Gelporen = Porozus gél

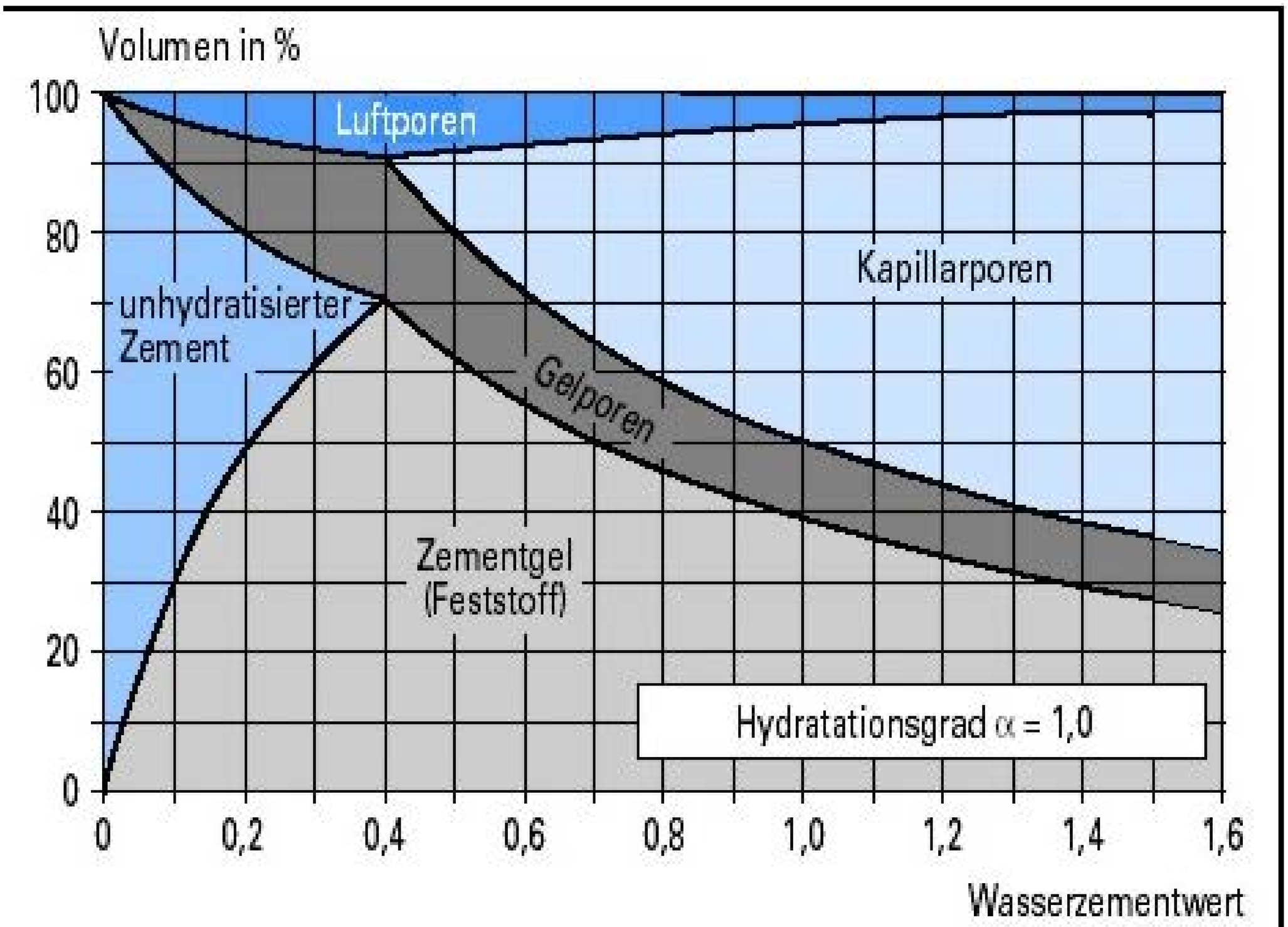
Produkt, unporös = Szilárd, tömör hidratációs termékek

Zem. = Hidratálatlan cement szemek

Forrás: *Nothnagel*, 2007.

Más olvasatban: A cementkőben lévő elgőzölhető és el nem gőzölhető víz összegének és a keverővíznek a különbsége a *cementkő egyensúlyi víztartalmának* kialakulása során elpárolog, és a cementkőben kapillárisokat (pórusszerkezet ❖) hagy maga után. A kapillárisok mennyiségének csökkentése, egyben a cementkő, illetve a beton szilárdságának növelése a víz-cement tényező csökkentésével érhető el. Az elgőzölhető víz szabad vízből, kapilláris vízből és gélvízből áll. A gélvizet fizikailag kötött víznek is nevezik. Ha a környező levegő relatív nedvességtartalma kisebb, mint 40 %, akkor a cementkő egyensúlyi állapotban csak kötött vizet, azaz csak kémiailag kötött vizet és fizikailag kötött vizet (gélvizet) tartalmaz, és a

gélvíz mennyisége csupán a levegő relatív nedvességtartalmától és a hidratációs foktól függ (*Palotás*, 1979).



5. ábra: Teljesen hidratált cementkő pórusarányai a hidratációhoz rendelkezésre álló víz-cement tényező függvényében, ha a próbatest a vízforgalomtól el van zárva

Wasserzementwert = Víz-cement tényező
Volumen in % = Térfogatarány
Luftporen = Légpórusok
Kapillarporen = Kapilláris pórusok
Gelporen = Porozus gél
Zementgel (Feststoff) = Szilárd, tömör hidratációs termékek
Unhydratisierter Zement = Hidratálatlan cement szemek
Hydratationsgrad = Hidratációs fok
Forrás: *vdz.*, 2008.

A cement hidratáció számos tényezőtől befolyásolt bonyolult folyamat, ezért a különböző feltételek mellett levezetett klasszikus modellek eredményei egymástól és a kísérleti eredményektől is eltérhetnek, ha nem is nagyságrendileg, csak árnyalatokban. Például *Nothnagel* (2007) egyetemi doktori értekezésében az áll, hogy *Powers* és *Brownyard* kísérletei szerint a teljes hidratációhoz szükséges minimális víz-cement tényező – ha a próbatest az utókezelés során további vízhez juthat – 0,38 (fenn $x_{0,min}$ = 0,36 érték szerepel), és víz alatti tárolás esetén 0,44 (szemben a fenti $x_{0,min}$' = 0,42 értékkel). *Nothnagel* azt írja, hogy a teljesen hidratált cementkő a cementre vetítve mintegy 25 tömeg% (víz-cement tényezővel kifejezve: x_1 = 0,25) kémiailag (szerkezetileg) kötött, ún. el nem gőzölhető vizet tartalmaz (az ilyen cementkő kémiailag kötött víztartalma 100·0,25/(1+0,25) = 20 tömeg%), míg fenn M_{vn} = 0,23 g/g, azaz $x_{1\,kémiailag\text{-}kötött}$ = 0,23 áll, és a víz másik része (pórusvíz, fizikailag kötött víz, elgőzölhető víz ❖), 15 tömeg% (x_f = 0,15) a hidratált cementszemcsék közötti pórusokat, hézagokat tölti ki (*Nothnagel*, 2007). *Palotás* (1979) még kisebb értékről

írt, szerinte legalább 15 – 18 tömeg% (víz-cement tényezővel kifejezve: x = 0,15 – 0,18) kémiailag kötött, ún. el nem gőzölhető víz épül be a cementbe. *Riesz* (1989) szerint szokványos portlandcement esetén a teljes hidratáció állapotában a cementkő víztartalma 23-28 tömeg%, ami x = 23/(100-23) = 0,30, illetve x = 28/(100-28) = = 0,39 víz-cement tényezőnek felel meg. Eszerint a teljes hidratáció esetén a kémiailag és fizikailag kötött víz együttes mennyisége a cementnek megközelítőleg 40 tömeg%-a. Elvileg fenn áll a lehetőség, hogy az $x \leq 0{,}4$ víz-cement tényezőjű cementkő, illetve beton a hidratáció végén a kapilláris pórusoktól mentes legyen, még ha nincs is minden cementszemcse teljesen hidratált állapotban (*Schwenk*, 2006), például a teljes hidratációhoz szükséges elegendő víz vagy hely hiánya miatt.

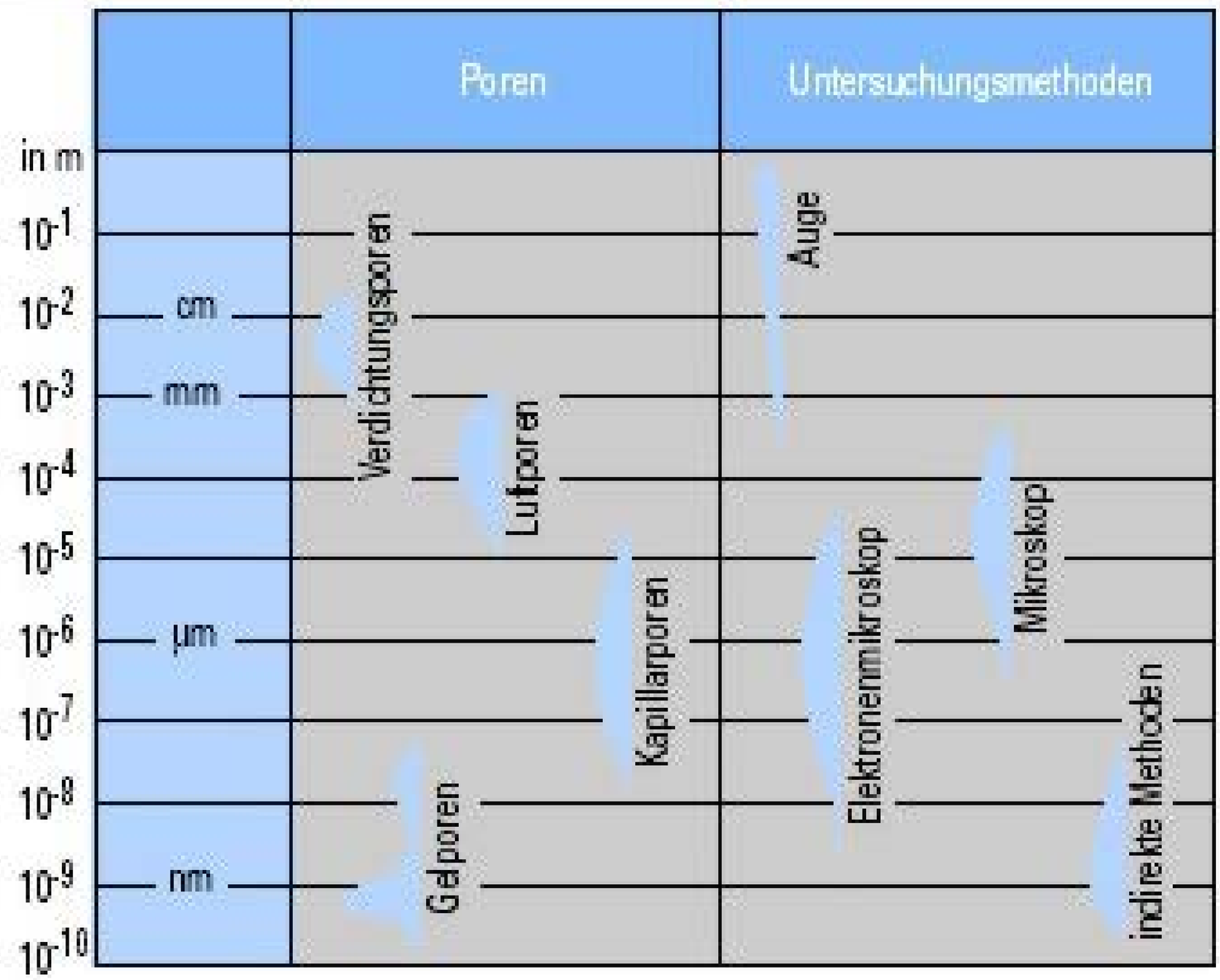
Nothnagel (2007) szerint a teljes hidratációhoz szükséges, alkalmazandó víz-cement tényező a cementkő víztől elzárt állapotában $x_0 \geq 0{,}4$, mert a cementkőnek utólag nincs lehetősége vízfelvételre; és víz alatti tárolás esetén $x_0 \geq 0{,}324$, mert a cementkő így lehetőséget kap az utólagos vízfelvételre. *Powers* és *Brownyard* kísérletek alapján a teljes hidratáció feltételeként víz alatti tárolás esetére $x \sim 0{,}38$ értékű víz-cement tényezőt jelölt meg, és azon a véleményen volt, hogy x = 0,32 alatti víz-cement tényező esetén az összes víz gélvíz formájában van jelen. Ha az utókezelés alatt utólag felvett vizet is figyelembe veszik, akkor a teljes hidratációhoz tartozó víz-cement tényező x = 0,44 értékre adódik.

Kísérletileg a cement hidratációját vízforgalomtól elzárt és vízzel telített cementkő próbatesteken szokták vizsgálni (*Nothnagel*, 2007). A vízforgalomtól elzáró utókezelés (versiegelte Lagerung) megelőzi a cementkő korai, egyenlőtlen kiszáradását, és a száradási zsugorodás hatására fellépő mikrorepedések kialakulását. Az ilyen, ún. vízforgalomtól elzáró utókezelés során a szorosan polietilén fóliába göngyölt próbatestet epoxi gyantával vonják be, majd alumínium fóliát ragasztanak rá, végül a külső sérülésektől is polietilén fóliával védik meg. Vízzel telítettnek a kizsaluzás után víz alatt tárolt (gesättigte Lagerung) próbatestet tekintik (ezalatt a kis víz-cement tényezőjű próbatest vizet vehet fel).

A portlandcement *kémiailag kötött vizének* mennyiségét vagy sztöchiometrikusan számítják vagy az izzítási veszteségből határozzák meg hosszú hidratációs idő elteltével. Fagyasztásos szárítással azt kapták, hogy a kémiailag kötött víz a vízmentes cement 21 – 24 tömeg%-a. A kémiailag kötött vízre a cementkövet 11 % relatív nedvességtartalmú térben, 25 °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítva azt kapták, hogy az mintegy 34 tömeg%. A különbség abból adódik, hogy a fagyasztásos eljárás során egyes fázisok dehidratálódnak. Ezt fagyasztásos szárításnál 10 – 15 százaléknyi fizikailag kötött víz hozzáadásával szokták figyelembe venni. A kémiailag kötött víz, a fizikailag kötött víz és a pórusvíz megbízható különválasztására ma tulajdonképpen nincs mérési módszer. Izzítás során a cementkő folyamatosan dehidratálódik. Végül is úgy tartják, hogy teljes hidratáció esetén a kémiailag és fizikailag kötött víz mennyisége a cement tömegére vonatkoztatva mintegy 40 tömeg%, és ez x = 0,4 értékű víz-cement tényezőnek felel meg (*Adam*, 2006).

Ezeknél az eltéréseknél azonban sokkal jelentősebb eltérés van a klasszikus modell adta eredmények és a korszerű, *különleges betonokkal* végzett kísérletek eredményei között, hiszen a mai a betontechnológia a korszerű anyagok (pl. adalékszerek, hidraulikus tulajdonságú kiegészítő anyagok stb.) és gyártási módszerek (pl. intenzív tömörítés, hőérlelés stb.) alkalmazásával a klasszikus betontechnológia lehetőségeit messze meghaladja. Például ma már – *Powers* és *Brownyard* után 60 évvel (külföldön korábban) – x_0 = 0,23 alatti víz-cement tényezővel olyan különlegesen tömör betont, illeve finombetont lehet készíteni, amelynek nyomószilárdsága az $f_{ck,cyl}$ = 150 N/mm^2 értéket is meghaladja (ez az ún. ultra nagy szilárdságú beton ❖). Például x = 0,23 *víz-cement tényezővel* készített finombetonon higanyporoziméterrel – amelynek ugyan korlátozott a méréstartománya (*6. ábra*) – 6 térfogat% alatti összes porozitást is mérnek (hagyományos, x = 0,5 víz-cement tényezőjű

beton esetén ez az érték mintegy 12 térfogat%). Az ultra nagy szilárdságú beton hidratációs fokának végértéke a nagyon kis víz-cement tényező folytán $\alpha = 0,4 - 0,6$, és így a kiindulási klinker fázisok egy része hidratálatlan marad. Ez elsősorban a lassabban hidratálódó belitet, adott esetben a nehezebben oldódó szulfát-hordozókat és a reagálatlan szilikaport érinti.



Forrás: *wlz.*, 2008.

6. ábra: Pórusméret vizsgálat mérés-tartománya

Verdichtungsporen = Tömörítési pórusok
Luftporen = Légpórusok
Kapillarporen = Kapilláris pórusok
Gelporen = Gélpórusok
Auge = Szemmel
Mikroskop = Mikroszkóppal
Elektronenmikros-kop = Elektron-mikroszkóppal
Indirekte Methoden = Közvetett módszerekkel

A hidratáció kezdetben általában gyorsabb, majd lassuló, de évekig tartó folyamat, állapotát a hidratációs fokkal szokás kifejezni. A hidratációs fok a levegő relatív nedvességtartalmának, a cementfajtának és a test ún. kiszáradó átlagos vastagságának a függvénye. A test kiszáradó átlagos vastagsága alatt a test kétszeres térfogatának és kiszáradó felületének hányadosa értendő. A hidratációs fok értéke a hidratáció kezdetén 0, teljes hidratáció esetén 1. Ha a levegő relatív nedvességtartalma kisebb, mint 80 %, akkor a hidratáció általában leáll, ha mintegy 70 %, akkor a hidratációs fok végértéke kb. 0,85. A cementkőben tehát egyidejűleg többé-kevésbé jelen van a képlékeny (plasztikus) ❖, folyékony (viszkózus) cementgél és a szilárd, hidratált cementrész. A képlékeny rész alakváltozása részben vagy nagyobb részt maradó, a szilárd rész alakváltozása lényegében rugalmas (elasztikus) ❖, így együttesen a cementkő alakváltozása kváziviszkózusnak, a kváziviszkózus cementkőből és a rugalmas adalékanyagból álló beton kétfázisú, elasztóviszkózus vagy elasztóplasztikus anyagnak tekinthető. A képlékeny fázis jelenlétének tudható be a beton kúszása és ernyedése ❖ (*Palotás*, 1979).

A hidratációs fokot többféleképpen is ki lehet fejezni. Érteni lehet alatta például

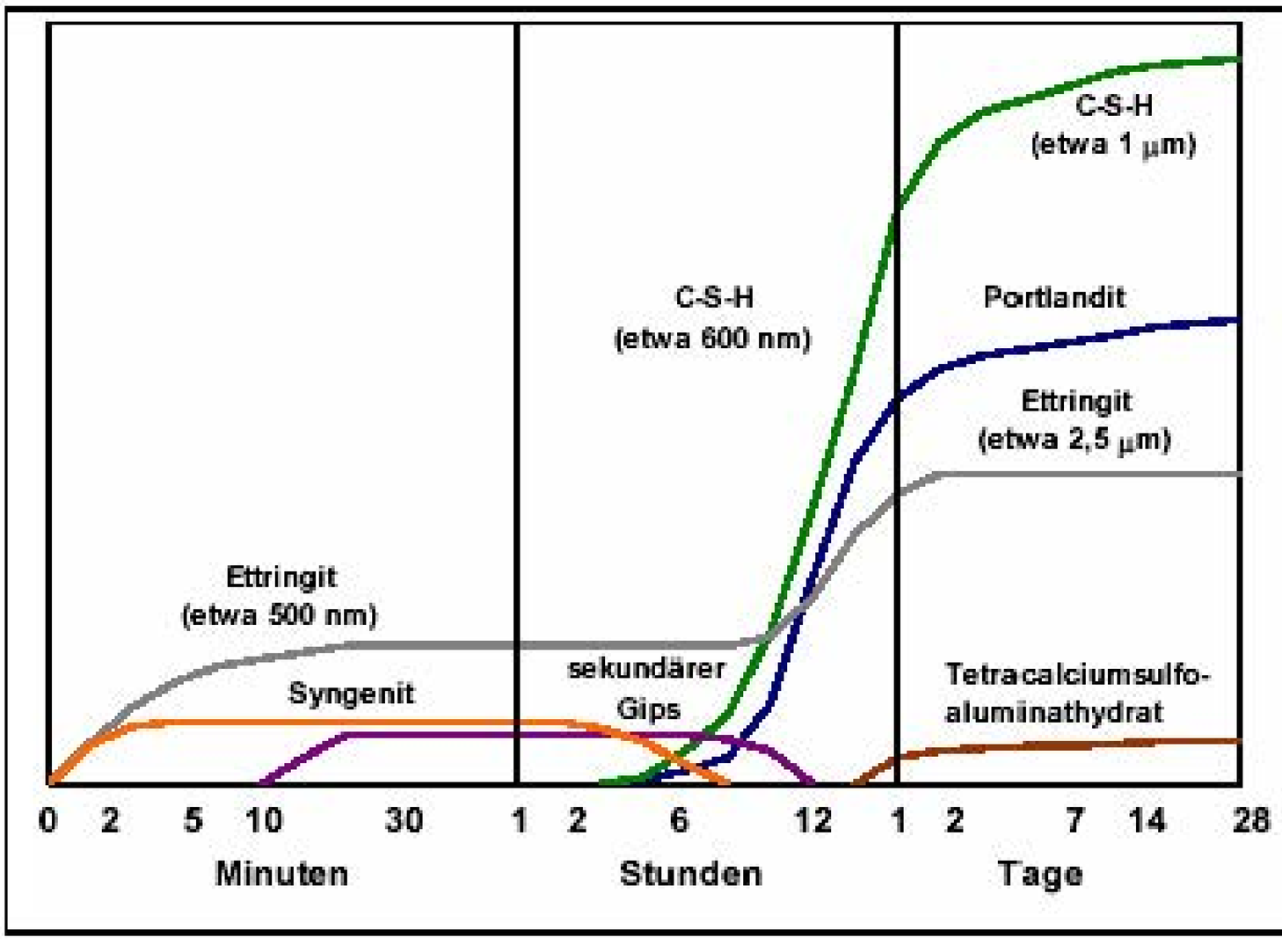
- a már hidratált cement és az összes cement tömegének hányadosát;
- a hidratáció során az adott időpontig fejlesztett hő és a teljes hidratációs hőfejlesztés hányadosát;
- az adott időpontig kémiailag kötött víz és a teljes hidratációhoz tartozó kötött víz tömegének hányadosát;
- az adott időpontig keletkezett kalcium-hidroxid és a hidratáció végéig fejlesztett kalcium-hidroxid mennyiségének hányadosát;
- a szilárdság és végszilárdság hányadosát;

- a zsugorodás és a hidratáció végéig fellépő zsugorodás hányadosát (*Adam*, 2006; *Nothnagel*, 2007).

A hidratáció hőfejlődéssel járó, exoterm folyamat, a fejlődött hő a hidratációhő, amelynek mennyisége a cement összetételétől függ. A klinkerásványok közül legnagyobb a trikalcium-aluminát, legkisebb a dikalcium-szilikát hidratációhője. A cement kiegészítő anyagok ❖ csökkentik a portlandcementek ❖ hidratációhőjét, az aluminátcementek ❖ hidratációhője a portlandcementekénél nagyobb. Nyári betonozásnál és különösen tömegbetonok ❖ esetén fontos a mérsékelt hőfejlesztésű cementek alkalmazása, mert a nagy hőfejlesztésű cementek nyáron a beton szilárdulási ütemét gyorsítják, konzisztenciáját szárazabbá teszik, vízigényét megnövelik, a tömegbetonok esetén pedig egyenetlen keresztmetszeti felmelegedést okoznak, húzófeszültségeket ébresztenek, és mindkét esetben a beton zsugorodását ❖ és repedésérzékenységét ❖ növelik.

A hidratáció sebessége és a hőfejlődés nem egyenletes:

- Az első szakasz nagy hőfejlődéssel jár és rövid ideig, legfeljebb 15 percig tart. Megkezdődik az elsődleges ettringit képződés. A pH értéke 12,3 fölé emelkedik;
- Ezt követi a lassú hőfejlődéssel járó, néhány órán át tartó második szakasz, amely lehetővé teszi a friss beton bedolgozását, mert ezalatt a beton még alakítható. A második szakasz lényegében a Vicat-féle kötési idő ❖ végéig tart;
- A víz hozzáadásától számított 4-8 óra múlva kezdődik a nagy hőfejlődéssel járó harmadik szakasz, amikor a kristálymagok növekedni kezdenek. Megindul a kalcium-szilikát-hidrátok és a kristályos kalciumhidroxid (portlandit) képződése, és folytatódik az elsődleges ettringit képződés. Kialakul a korai szilárdság;
- A negyedik szakaszban lassul, de még sokáig tart a hidratáció, és csökken a hőfejlődés. Folytatódik a kalcium-szilikát-hidrátok és a portlandit képződése. Kb. 1 napos korban elkezdődik a *monoszulfát* (tetrakalcium-szulfo-aluminát-hidrát képződés. Az erőteljes szilárdulás általában 28 napos korig tart. Lásd a *7.* és a *8. ábrát*;
- Ezt a szakaszt az éveken át tartó utószilárdulás követi. (*Talabér*, 1966; *Riesz*, 1989; *Adam*, 2006.)



7. ábra: Hidrátfázisok kialakulása a hidratáció során

Minuten = percek

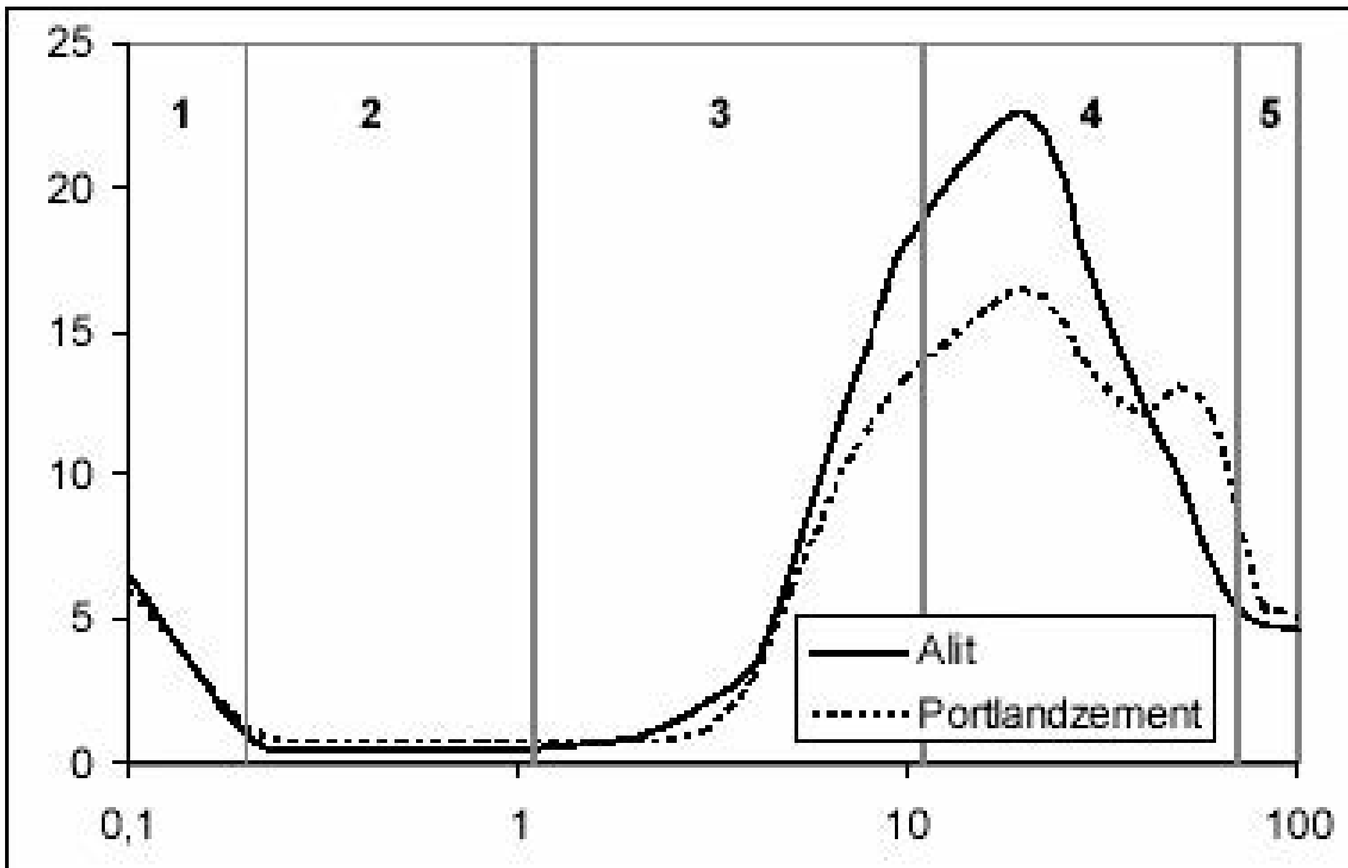
Stunden = órák

Tage = Napok

C-S-H = Kalcium-szilikát--hidrátok

Syngenit = Kalium--kalcium-szulfát-hidrát ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$)

Forrás: *Adam*, 2006, ill. *Stark* et al., 2003.



8. ábra: Hőfejlődés a hidratáció során

A függőleges tengelyen a hőfejlődés J/(g·h) mértékegységben

Vízszintes tengelyen az idő órákban

Forrás: *Adam*, 2006, ill. *Stark* et al., 2000.

A hidratációs termékek képződése a következő hőfejlődéssel jár:

$3CaO \cdot 2SiO_3 \cdot 4H_2O$ képződése alitból:	520 J/g
$3CaO \cdot 2SiO_3 \cdot 4H_2O$ képződése belitből:	260 J/g
$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaO \cdot SiO_3 \cdot 12H_2O$ képződése felitből:	1140 J/g
$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaO \cdot SiO_3 \cdot 32H_2O$ képződése felitből:	1670 J/g
$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O$ képződése felitből:	1160 J/g
$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O + 4CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 13H_2O$ képződése celitből:	420 J/g
$Ca(OH)_2$ képződése szabad kalcium-oxidból:	1150 J/g
$Mg(OH)_2$ képződése szabad magnézium-oxidból:	840 J/g

A különféle típusú cementek hidratációs hőfejlesztése a következő:

Portlandcement:	375 - 525 J/g
Kohósalakportlandcement:	355 - 440 J/g
Traszportlandcement:	315 - 420 J/g
Olajpalaportlandcement (Baden-Württemberg tartományban gyártják):	360 - 480 J/g
Aluminátcement, például bauxitcement (lásd lejjebb):	545 - 585 J/g

A portlandcement hidratációja során le nem kötött kalciumhidroxid (portlandit) keletkezik, amely a betonnak lúgos kémhatást (pH ~ 13) kölcsönöz. A le nem kötött (szabad) kalciumhidroxidot a víz oldja, ezért az a felületen kivirágzás alakjában megjelenhet. (Ennek megelőzésére például a nagytartósságú – nagy teljesítőképességű – felszerkezeti hídbetonokra vonatkozó ÚT 2-3.423 útügyi műszaki előírás 2008. évi tervezete a felhasználható portlandcement le nem kötött kalciumhidroxid-tartalmát 1,5 tömeg%-ban korlátozza.) A levegővel érintkező beton felületi rétegében viszont a kalciumhidroxid a levegő széndioxid-tartalmával reakcióba lép, és eleinte kalcium-hidrokarbonáttá, majd vízvesztéssel kalciumkarbonáttá (mészkővé) alakul. Ez a jelenség a *karbonátosodás* ✣, amely a beton vagy a cementhabarcs esetén a kapillárisok elzáródása és a szilárdság növekedése szempontjából kedvező, vasbeton vagy feszített vasbeton esetén viszont a lúgos kémhatás megszűnése folytán az acélbetét korróziója szempontjából kedvezőtlen. Ez utóbbi adja a kellő betonfedés ✣ jelentőségét.

A le nem kötött kalciumhidroxid nem tévesztendő össze a cementben esetleg megtalálható szabad kalciumoxiddal, amely a betonban kalciumhidroxiddá beoltódva duzzadáshoz ✣ és repedések keletkezéséhez vezethet (*mészduzzadás*). A klinkerásványok között szabad magnéziumoxid (periklasz) is található, amely nagyobb mennyiségben duzzadó hajlamú cementet adhat (*magnéziaduzzadás*). (*Palotás*, 1979)

Az MSZ EN 197-1:2000 szerint a cement *kloridtartalma* az acélbetét korrózióménteségé érdekében általában ne legyen több, mint 0,1 tömeg%.

A kötés szabályozása céljából a portlandcementhez a gyártás során ❖ mintegy 3 tömeg%-ban kalcium-szulfátot (Kötőanyagok I. ❖) adnak természetes gipszkő, anhidrit, félhidrát, vagy mesterséges REA-gipsz (**R**auchgas-**E**ntschwefelungs-**A**nlagen: füstgáz kéntelenítő berendezés az erőművekben) alakjában. Ugyanakkor a cement, illetve a beton túlzott szulfáttartalma másodlagos ettringit *képződés* („cementbacilus") folytán duzzadást (*ettringit-szulfátkorrózió,* szulfátduzzadás) okozhat, amelyet emiatt korlátozni kell. A portlandcement megengedett *szulfáttartalma* SO_3-ban kifejezve az MSZ EN 197-1:2000 szerint a 32,5 N, 32,5 R és 52,5 N szilárdsági osztályban 3,5 tömeg%, a 42,5 R, 52,5 N, 52,5 R szilárdsági osztályban és a CEM III cementfajta esetén általában 4,0 tömeg%. A monoszulfát hidráttermék ettringitté átalakulását külső körülmények (például szulfátos talajvíz) is befolyásolhatják. Szulfátos talajvíz hatására duzzadással kísért másodlagos ettringit képződés indul el. A ferritben dús, trikalcium-aluminátban szegény cement a szulfátkorrózióra kevésbé érzékeny. (*Riesz*, 1989)

A taumazit – amely a természetben is előforduló ásvány: $CaSiO_3 \cdot CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot 15H_2O$ – a másodlagos ettringithez hasonlóan duzzadást és repedést okoz, továbbá a szilikátos hidráttermékek kötőerejét megszünteti („cementvírus", *taumazit-szulfátkorrózió* ❖, TSA: Thaumasite Sulphate Attack). A taumazit betonban kalcium-szilikátokból vagy ettringit közbejöttével kalcium-aluminátokból jöhet létre, elsősorban áramló, szulfáttartalmú talajvizek jelenlétében, karbonátos adalékanyag esetén, 15 °C hőmérséklet alatt, de a cement mennyiségétől és minőségétől, a beton minőségétől, geometriájától, környezeti helyzetétől stb. is függően. (*Révay – Laczkó*, 2006)

A beton alkálifém-oxid reakciójának ❖ elkerülésére a cement *alkálifém tartalmát* szintén korlátozni kell. Kis alkálifém-tartalmúaknak azokat a tiszta portlandcementeket és 50 tömeg%-nál kevesebb kiegészítő anyagot tartalmazó heterogén portlandcementeket tekintik, amelyek nátriumoxid egyenértéke (Na_2O tartalom + $0{,}658 \cdot K_2O$ tartalom) a 0,6 tömeg%-ot nem haladja meg.

Aluminátcement hidratációja

Az aluminátcement (például bauxitcement, bauxitbeton ❖) hidratációja során különböző kalciumhidroaluminátok képződnek, amelyek kezdőszilárdsága és hőfejlesztése jelentős, de idővel elsősorban nedvesség és viszonylag nagyobb hőmérséklet (25-30 °C) hatására lassan leépülnek, szilárdságukat általában jórészt elvesztik. A szilárdságvesztés annak a következménye, hogy az átalakult stabil kalciumhidroaluminátok térfogata kisebb, mint a kezdeti instabil kalciumhidroaluminát hidratációs termékeké, ezért kialakulásuk a cementkő porozitásának növekedésével jár. Az instabil kalciumhidroaluminát általában a C_4AH_n ($n \sim 12\text{-}14$) szimbólummal írható le, stabil változatnak a szabályos rendszerű C_3AH_6 tekinthető. (*Palotás*, 1979)

Bauxitcementet Magyarországon, Tatabánya-Felsőgallán 1928 és 1949 között gyártottak, a bauxitbetonból készült építmények nagy részét 1990-ig feltárták, de felújítások, átalakítások során még napjainkban is felbukkannak.

Cementkőben lévő vizek megnevezése (*Adam*, 2006)

Szabad víz (*pórus víz*) folyékony állapotban található a cementkő pórusaiban. A hidratálatlan cemek szemek hidratációjához szükséges víz forrása.

Fizikailag kötött víz a hidratációs termékek, elsősorban a gélpórusok szabad felületén található víz. A mennyisége és rétegvastagsága a belső vízgőznyomástól függ. Mennél nagyobb a határfelület és a relatív vízgőznyomás, annál több a fizikailag kötött víz mennyisége.

Kémiailag kötött víz a hidratációs termékek kristály és rétegközi vize. Minthogy a fizikailag és kémiailag kötött víz közötti határ pontosan nem definiálható, azt a vizet szokták kötött víznek tekinteni, amely 11 % relatív nedvességtartalmú térben, 25 °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítva még a cementkőben marad. (Fontos megjegyzés: Ne tévesszen meg bennünket, hogy az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a beton hidrotechnikai tulajdonságait (60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítva kell vizsgálni.)

Adszorpciós víz, amelyet elektrosztatikus vagy Van der Waals erők kötnek a határfelülethez. (A *Van der Waals* összetartó erő nagyon gyenge.) Mennél nagyobb a távolság az adszorpciós réteg és a határfelület között, annál kisebb a kötési energia. A fizikailag kötött víz nagy részét az adszorpciós víz teszi ki.

Adhéziós víz a fizikailag kötött víz része. A vízmolekulák a molekulaközi kölcsönhatás folytán tapadnak a határfelületre.

Kapilláris víz a kapilláris erők hatására a pórusokban, a hidratációs termékek között található. A kötési energia a kapilláris átmérőjével fordítottan arányos. A kapilláris vizet lényegében a szabad vízhez kell számítani.

Rétegközi víz kémiailag kötött és adhéziós állapotban található a kalcium-aluminát-hidrát és kalcium-aluminát-szulfát-hidrát fázisok között. Szárítás során általában a szövetszerkezet rombolása nélkül távozik a cementkőből.

Elgőzölhető víz fagyasztásos szárítás vagy 105 °C hőmérsékleten történő szárítás során a cementkőből távozik. Beleértendő a szabad pórus víz, az adszorpciós (fizikailag kötött) víz és egy része a kémiailag kötött víznek.

El nem gőzölhető víz az elgőzölhető víz távozása után a cementkőben marad. Általában az 1000 °C hőmérsékleten meghatározott izzítási tömegveszteséggel fejezik ki, a szén-dioxid tartalom figyelembevételével. Az el nem gőzölhető víz valamivel kevesebb, mint a kémiailag kötött víz.

Stark, J. – Möser, B. – Bellmann, F.: Ein neues Modell der Zementhydratation. Proceedings „15. Internationale Baustofftagung ibausil”. Weimar, September 2003. S. 1/0015-1/0031.

Talabér József (szerk.): Cementipari Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1966.

vdz. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Forschungsinstitut der Zementindustrie: Zement-Taschenbuch. 51. Ausgabe. Verlag Bau+Technik GmbH. Düsseldorf, 2008.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2008. március havi számának 16-18. oldalán

Térfogati fajlagos felület és (tömegi) fajlagos felület

A **térfogati fajlagos felület** az egységnyi testtérfogatú szemhalmaz szemeinek felületösszege, azaz a szemhalmaz szemei külső felülete összegének és a szemek - többnyire pórusokat is tartalmazó, tehát a külső felület által határolt - térfogata összegének hányadosa.

A gömb vagy kocka alakú, tehát idealizált szemalakú szemek halmazának f_v térfogati fajlagos felületét kifejezhetjük, mint a $p'_{(d)}$ gyakoriságfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett (-1)-rendű ν_{-1} nyomatéka hatszorosát:

$$f_v = 6 * \nu_{-1} = 6 * \int_{d_1}^{d_n} d^{-1} * p'.dd \qquad [mm^{-1}]$$

Bevezetve az $u=d^{-1}$ [mm^{-1}] jelölést és a fenti egyenletbe behelyettesítve megfelelőit, bizonyítható, hogy

$$f_v = 6 * \nu_{-1} = 6 * \left(\int_0^{u_n} du + \int_{u_n}^{u_1} p_{[u]}.du \right) \qquad \left[mm^{-1}\right]$$

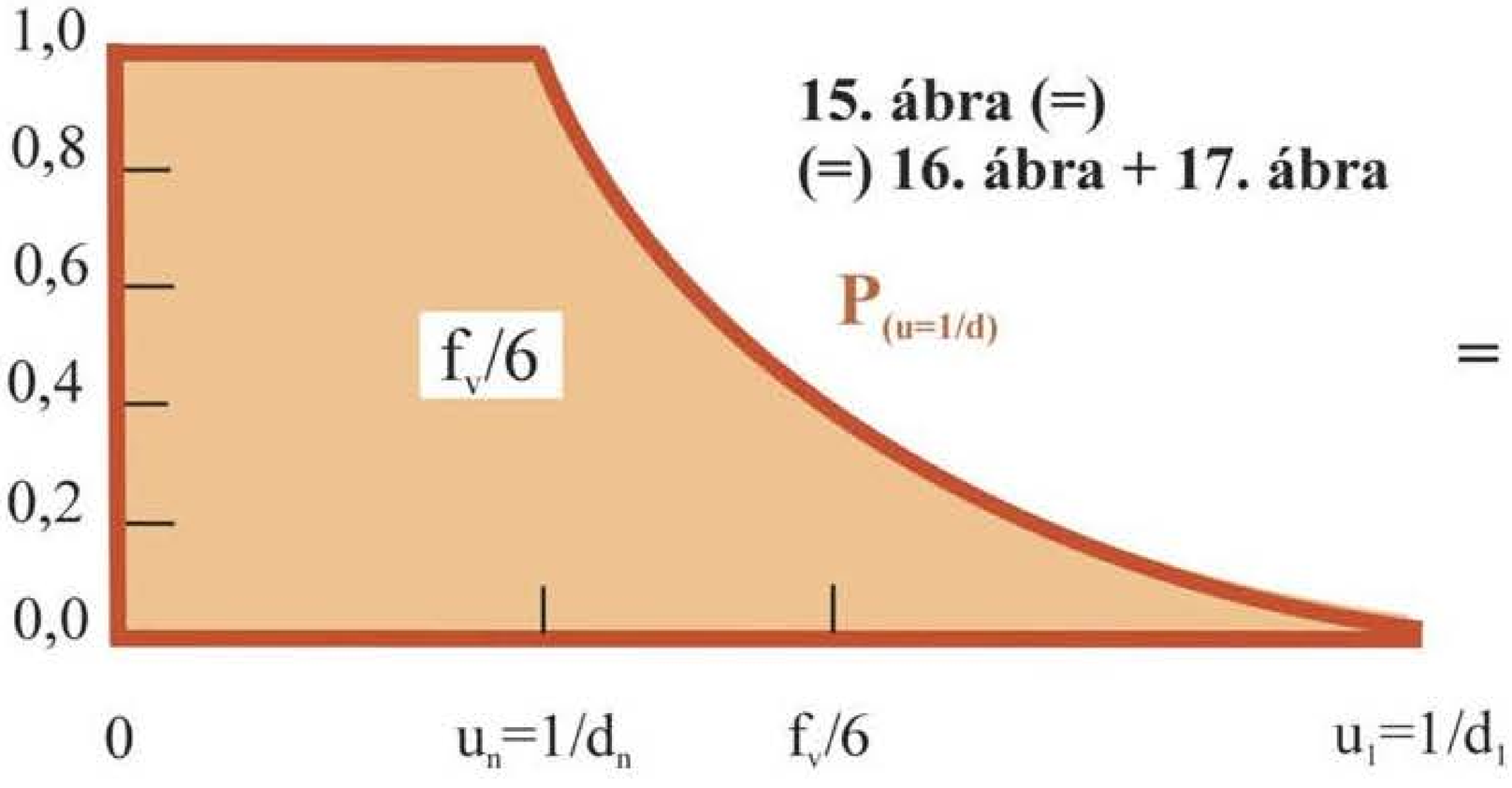
Eszerint a térfogati fajlagos felület a **reciprok beosztású abszcisszatengellyel** rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemeloszlásgörbe alatti terület hatszorosával egyenlő, azaz

$$f_v = 6 * (d_n^{-1} + T_{(d^{-1})}) =$$

$$= \frac{3}{100} * \left[100 * (d_{n-1}^{-1} + d_n^{-1}) + \sum_{i=2}^{n-1} p_i^{\%} * (d_{i-1}^{-1} - d_{i+1}^{-1}) \right] \qquad \left[mm^{-1}\right] \qquad (8)$$

A *8. egyenlet* tartalma a *15.-17. ábrákkal* kifejezve:

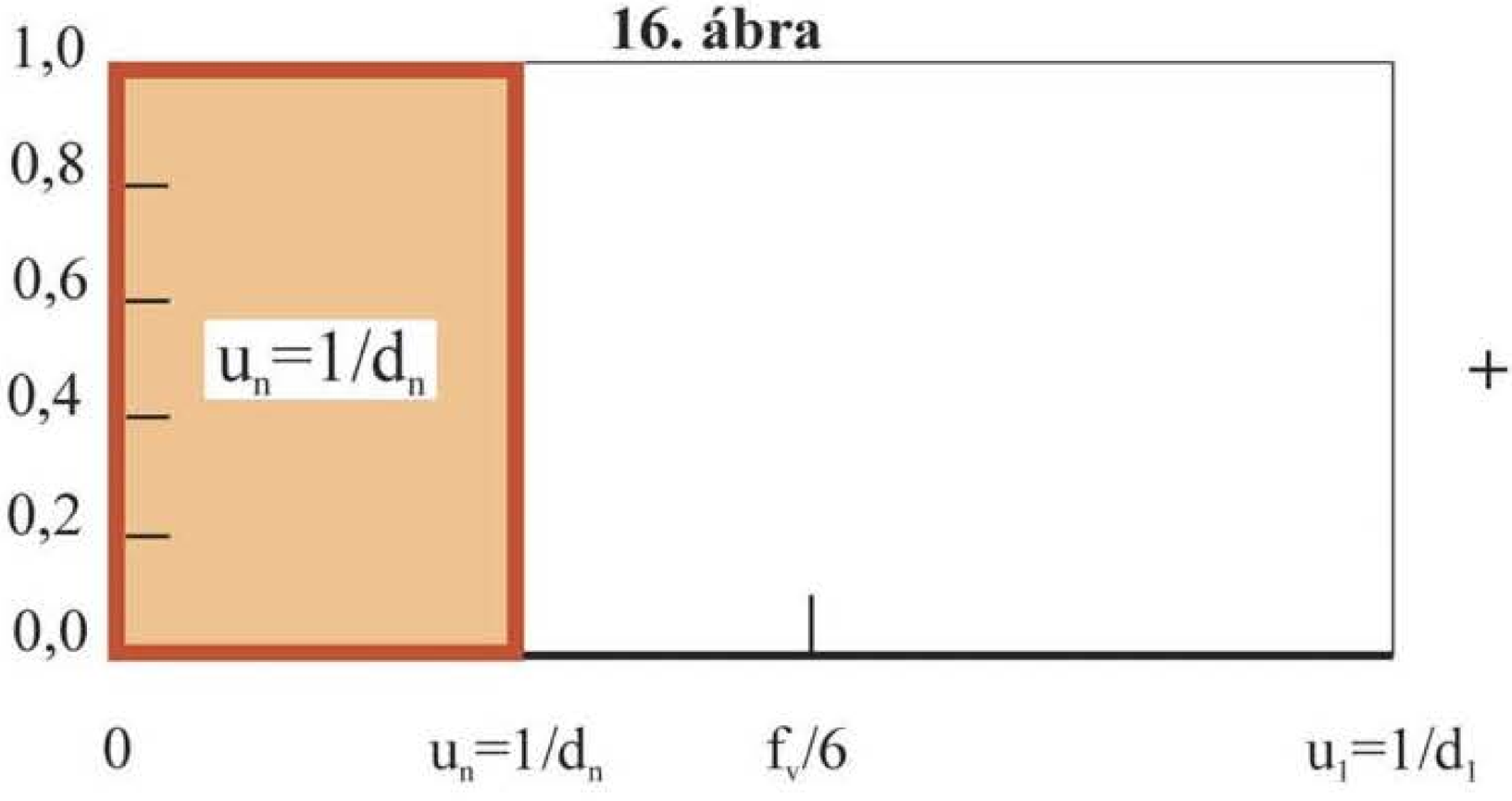
f_v (=) 6*{15. ábra} = 6*{16. ábra + 17. ábra}



15. ábra (=)
(=) 16. ábra + 17. ábra

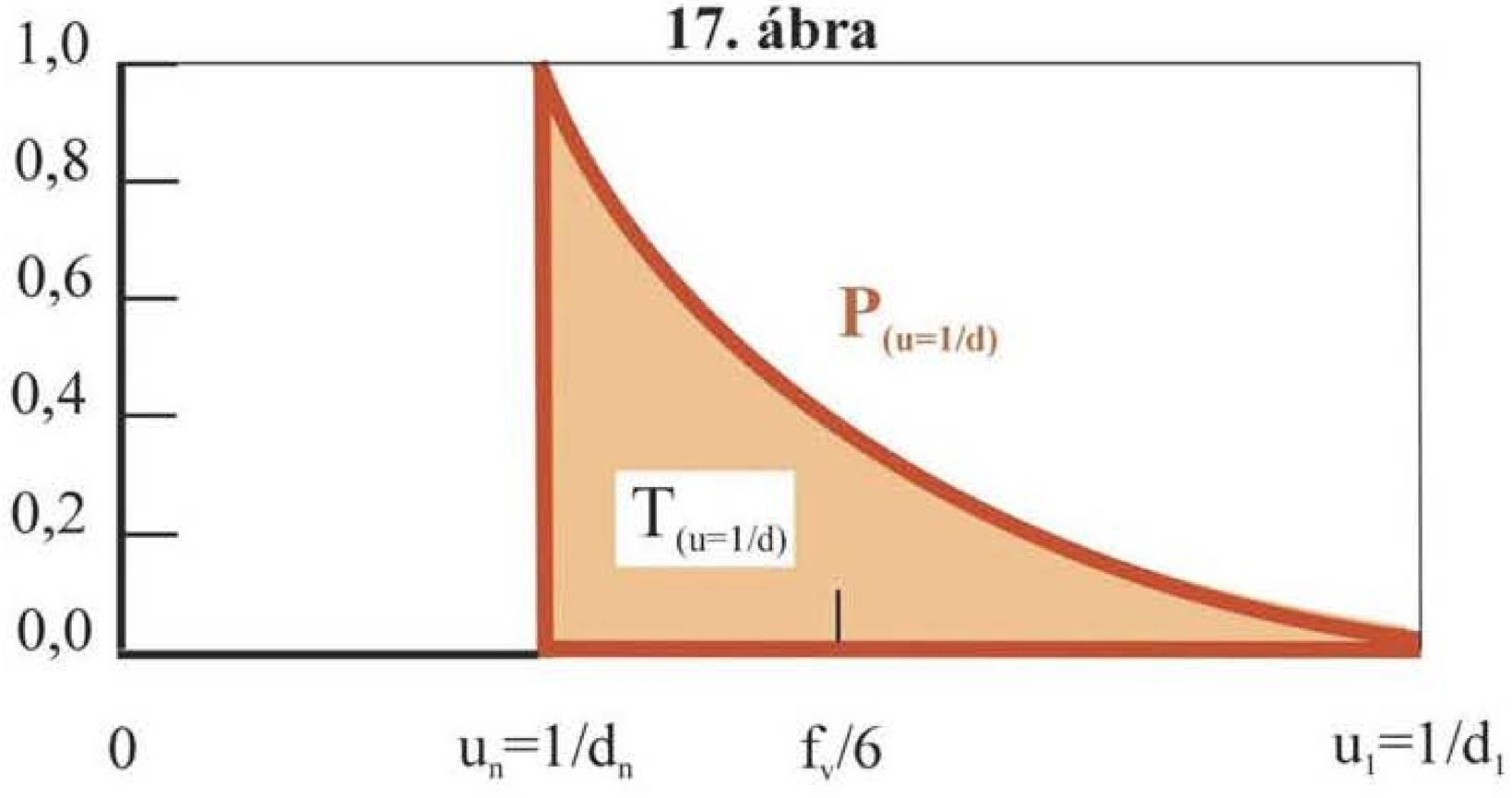
=

16. ábra



+

17. ábra



A szemhalmaz térfogati fajlagos felületének értéke nagyon érzékeny a finomszemek nagyságára és mennyiségére. Például szélső esetként a $d_1=0$ legkisebb szemnagyságú szemhalmazok térfogati fajlagos felületének számítása kifejezetten nehézségekbe ütközik, mert ha $d_1=0$, akkor $u_1=\infty$ és $f_v=\infty$, azaz a térfogati fajlagos felület értéke végtelen nagyra adódik. Ezért feltételül szoktuk szabni, hogy $d_1 \geq 0{,}001$mm illetve $u_1 \leq 1000$ mm^{-1} kell, hogy legyen. Bár e feltétel önkényes, értéke azért fogadható el, mert a beton-adalékanyagban a legfinomabb szemek az agyag szemek, (amelyek szemnagysága 0,002 mm-nél kisebb,) és ezek mennyiségét egyébként is tudatosan korlátozzuk.

Az építőanyagipari gyakorlatban a szemhalmazok egységnyi mennyiségére eső felületet a *térfogati fajlagos felület* helyett előszeretettel fejezik ki a **tömegi fajlagos felülettel**, amit egyszerűen **fajlagos felületnek** neveznek. Ennek méréstechnikai oka van, míg ugyanis a térfogati fajlagos felület egy számított szemeloszlás-jellemző, addig a fajlagos felület értékét meg lehet mérni. A fajlagos felület mértékegysége m^2/kg, ami 1000 mm^2/g-nak felel meg.

Az f fajlagos felület és az f_v térfogati fajlagos felület kapcsolatát a (9) összefüggés írja le.

$$f = 10^3 * \frac{f_v}{\rho_T} \qquad [m^2/kg] \qquad (9)$$

ahol:

f_v = a térfogati fajlagos felület [1/mm]

ρ_T = a kiszárított állapotú szemhalmaz szemeinek átlagos testsűrűsége [kg/m^3]

A fajlagos felület az anyag testsűrűségének is függvénye, ezért - a térfogati fajlagos felülettel ellentétben - nem tekinthető kifejezetten szemeloszlás-jellemzőnek, hiszen a fajlagos felület csak az azonos testsűrűségű szemek halmazai felületének közvetlen összevetésére alkalmas.

Ennek érzékeltetésére vegyünk néhány golyót, mérjük meg az átmérőjét és a tömegét, számítsuk ki a testsűrűségét, a fajlagos felületét, és a térfogati fajlagos felületét. A vizsgált golyók képe a következő fényképeken látszik.

4.
10.
11.
7.
6.
9.
8.
1.
2.
3.

1.
2.
3.

4.
6.
5.
7.

8.
9.

A mérés és számítás adatait a *2.1. táblázatban*, majd ennek sorait az átmérő, a tömeg, a testsűrűség, a fajlagos felület szerint növekvő sorba rendezve a *2.2. - 2.5.táblázatokban* tüntettük fel.

A 2.1. - 2.5. táblázatokat erre a mondatra kattintva tekintheti meg.

A táblázatok jól szemléltetik, hogy növekvő átmérőhöz mindig csökkenő térfogati fajlagos felület tartozik (*2.2. táblázat*), míg a fajlagos felületre nagy hatással van a testsűrűség, így a fajlagos felület értéke különböző testsűrűségek esetén, közel azonos átmérők mellett is különböző lehet (például az égerfa és a paesina mészkő, vagy a gumilabda, a pingponglabda és a szerpentin esete), illetve a nagy testsűrűséghez fordított átmérő viszony esetén is kis fajlagos felület tartozik (például a 4. jelű kőrisfa és az acélgolyók esete).

Mint a térfogati fajlagos felület, úgy a (tömegi) fajlagos felület is a finomszemekre érzékeny jellemző, ezért a **fajlagos felület laboratóriumi mérését** finom eloszlású anyagokon, főképp porokon szokták elvégezni. A mérésre iparáganként számtalan módszert alakítottak ki. Az építőanyagiparban a cementek őrlésfinomságát lehet a fajlagos felülettel jól kifejezi. [Cementipari kézikönyv, szerkesztette *Talabér József*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966. vagy *Palotás László*: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 2. kötet. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1979.]

A cementek fajlagos felület mérésének legegyszerűbb és legelterjedtebb módszere a légáteresztő képesség vizsgálatán alapú *Blaine eljárás*, amelynek leírása az MSZ EN 196-6:1992 illetve a már hatálytalan MSZ 523-2:1975 szabványban megtalálható. A *Blaine készülékkel* mért értékek 1994-ig termékminősítő értékek voltak (MSZ 4702-2:1981, MSZ 4702-4:1982), ma már nem azok (MSZ ENV 197-1:1994, majd MSZ 4702-2:1997). A fényképen a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének hagyományos kivitelű Blaine készüléke látható. (A készüléknek létezik automata változata is, de a fényképe nem sokat mond.)

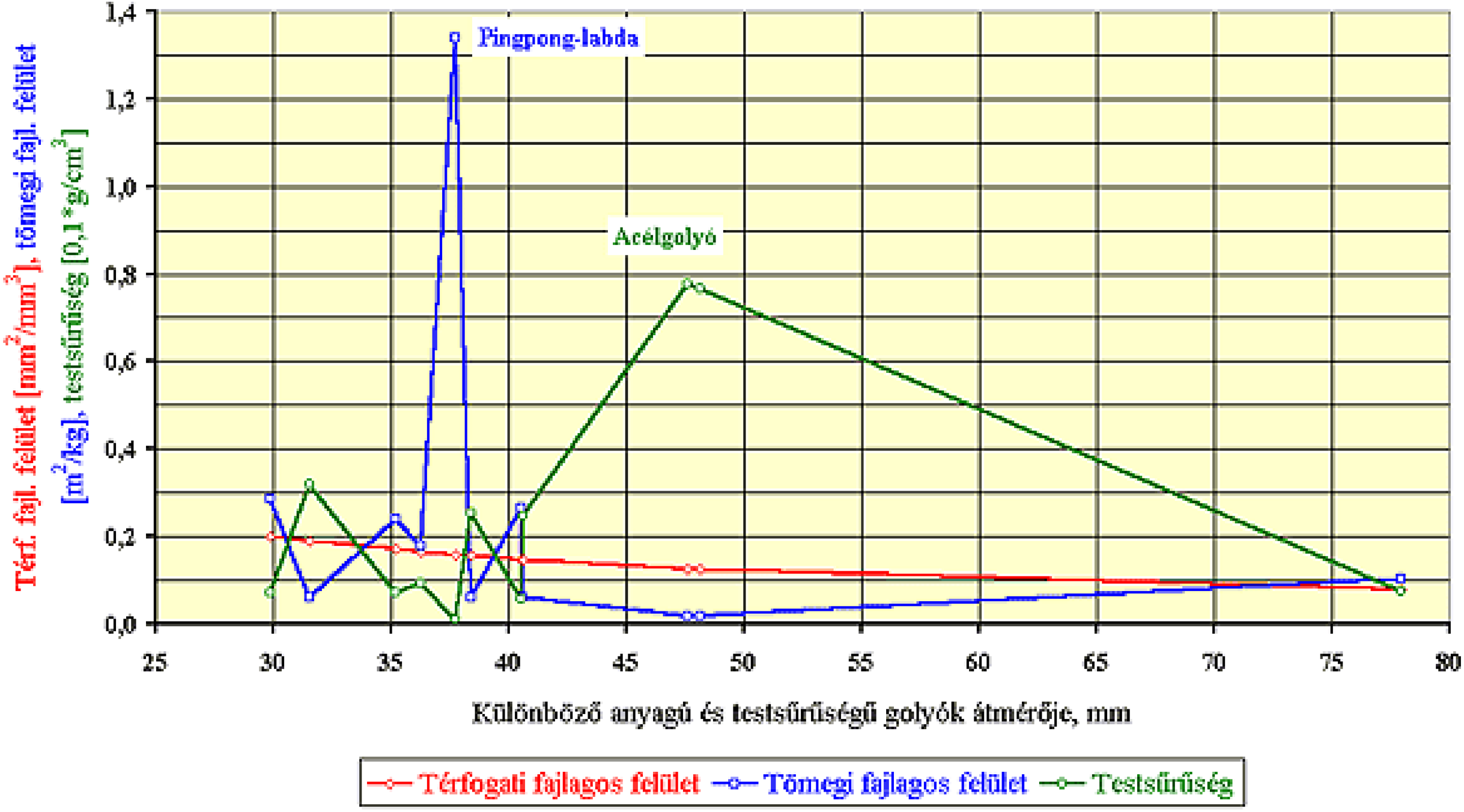
2.1. táblázat: Különböző golyók (tömegi) fajlagos felületének és térfogati fajlagos felületének összevetése

Jel és megnevezés	Átmérő	Felület	Térfogat	Tömeg	Testsűrűség	Fajlagos felület	Térf. fajl. felület
	mm	mm^2	mm^3	g	kg/m^3	m^2/kg	mm^2/mm^3
1. Paesina mészkő	40,6	5178	35041	86,05	2456	0,0602	0,14778
2. Szerpentin	38,4	4632	29648	75,21	2537	0,0616	0,15625
3. Fluorit	31,5	3117	16366	52,16	3187	0,0598	0,19048
4. Kőrisfa	77,9	19064	247520	186,79	755	0,1021	0,07702
5. Égerfa	40,5	5153	34783	19,52	561	0,2640	0,14815
6. Kőrisfa	35,2	3893	22836	16,24	711	0,2397	0,17045
7. Tölgyfa	29,9	2809	13996	9,83	702	0,2857	0,20067
8. Acélgolyó, fényes	47,6	7118	56470	439,43	7782	0,0162	0,12605
9. Acélgolyó, matt	48,1	7268	58269	446,02	7655	0,0163	0,12474
10. Pingponglabda	37,7	4465	28056	3,33	119	1,3409	0,15915
11. Gumilabda	36,3	4140	25045	22,95	916	0,1804	0,16529

2.2. táblázat: Rendezés átmérő szerint, ami felület, térfogat és térfogati fajlagos felület szerinti rendezést is jelent, és amit ide kattintva grafikus formában is megtekinthet

Jel és megnevezés	Átmérő	Felület	Térfogat	Tömeg	Testsűrűség	Fajlagos felület	Térf. fajl. felület
	mm	mm^2	mm^3	g	kg/m^3	m^2/kg	mm^2/mm^3
7. Tölgyfa	29,9	2809	13996	9,83	702	0,2857	0,20067
3. Fluorit	31,5	3117	16366	52,16	3187	0,0598	0,19048
6. Kőrisfa	35,2	3893	22836	16,24	711	0,2397	0,17045
11. Gumilabda	36,3	4140	25045	22,95	916	0,1804	0,16529
10. Pingponglabda	37,7	4465	28056	3,33	119	1,3409	0,15915
2. Szerpentin	38,4	4632	29648	75,21	2537	0,0616	0,15625
5. Égerfa	40,5	5153	34783	19,52	561	0,2640	0,14815
1. Paesina mészkő	40,6	5178	35041	86,05	2456	0,0602	0,14778
8. Acélgolyó, fényes	47,6	7118	56470	439,43	7782	0,0162	0,12605
9. Acélgolyó, matt	48,1	7268	58269	446,02	7655	0,0163	0,12474
4. Kőrisfa	77,9	19064	247520	186,79	755	0,1021	0,07702

Példa a térfogati és a tömegi fajlagos felület viszonyára



2.3. táblázat: Rendezés tömeg szerint

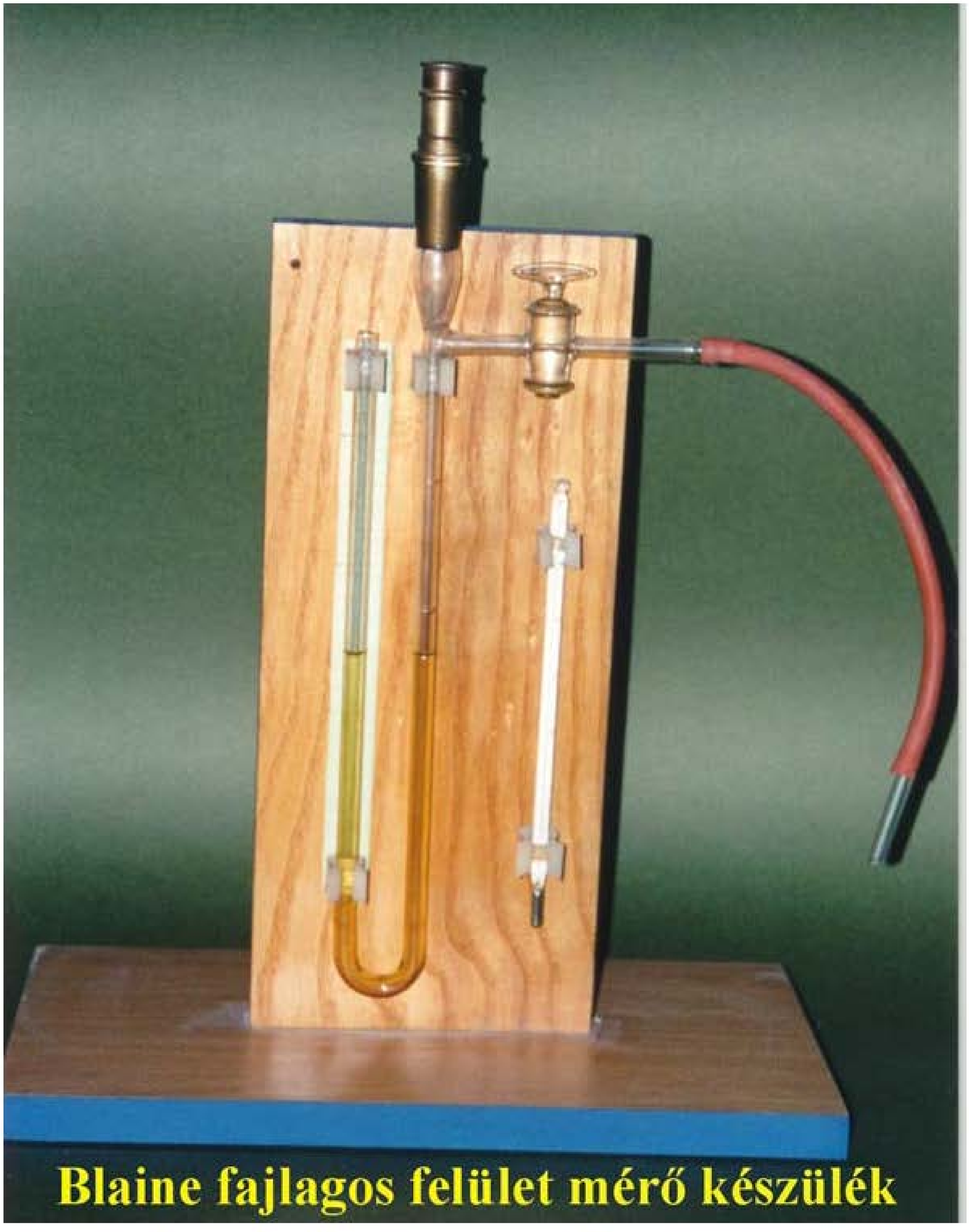
Jel és megnevezés	Átmérő	Felület	Térfogat	Tömeg	Testsűrűség	Fajlagos felület	Térf. fajl. felület
	mm	mm^2	mm^3	g	kg/m^3	m^2/kg	mm^2/mm^3
10. Pingponglabda	37,7	4465	28056	3,33	119	1,3409	0,15915
7. Tölgyfa	29,9	2809	13996	9,83	702	0,2857	0,20067
6. Kőrisfa	35,2	3893	22836	16,24	711	0,2397	0,17045
5. Égerfa	40,5	5153	34783	19,52	561	0,2640	0,14815
11. Gumilabda	36,3	4140	25045	22,95	916	0,1804	0,16529
3. Fluorit	31,5	3117	16366	52,16	3187	0,0598	0,19048
2. Szerpentin	38,4	4632	29648	75,21	2537	0,0616	0,15625
1. Paesina mészkő	40,6	5178	35041	86,05	2456	0,0602	0,14778
4. Kőrisfa	77,9	19064	247520	186,79	755	0,1021	0,07702
8. Acélgolyó, fényes	47,6	7118	56470	439,43	7782	0,0162	0,12605
9. Acélgolyó, matt	48,1	7268	58269	446,02	7655	0,0163	0,12474

2.4. táblázat: Rendezés testsűrűség szerint

Jel és megnevezés	Átmérő	Felület	Térfogat	Tömeg	Testsűrűség	Fajlagos felület	Térf. fajl. felület
	mm	mm^2	mm^3	g	kg/m^3	m^2/kg	mm^2/mm^3
10. Pingponglabda	37,7	4465	28056	3,33	119	1,3409	0,15915
5. Égerfa	40,5	5153	34783	19,52	561	0,2640	0,14815
7. Tölgyfa	29,9	2809	13996	9,83	702	0,2857	0,20067
6. Kőrisfa	35,2	3893	22836	16,24	711	0,2397	0,17045
4. Kőrisfa	77,9	19064	247520	186,79	755	0,1021	0,07702
11. Gumilabda	36,3	4140	25045	22,95	916	0,1804	0,16529
1. Paesina mészkő	40,6	5178	35041	86,05	2456	0,0602	0,14778
2. Szerpentin	38,4	4632	29648	75,21	2537	0,0616	0,15625
3. Fluorit	31,5	3117	16366	52,16	3187	0,0598	0,19048
9. Acélgolyó, matt	48,1	7268	58269	446,02	7655	0,0163	0,12474
8. Acélgolyó, fényes	47,6	7118	56470	439,43	7782	0,0162	0,12605

2.5. táblázat: Rendezés fajlagos felület szerint

Jel és megnevezés	Átmérő	Felület	Térfogat	Tömeg	Testsűrűség	Fajlagos felület	Térf. fajl. felület
	mm	mm^2	mm^3	g	kg/m^3	m^2/kg	mm^2/mm^3
10. Pingponglabda	37,7	4465	28056	3,33	119	1,3409	0,15915
7. Tölgyfa	29,9	2809	13996	9,83	702	0,2857	0,20067
5. Égerfa	40,5	5153	34783	19,52	561	0,2640	0,14815
6. Kőrisfa	35,2	3893	22836	16,24	711	0,2397	0,17045
11. Gumilabda	36,3	4140	25045	22,95	916	0,1804	0,16529
4. Kőrisfa	77,9	19064	247520	186,79	755	0,1021	0,07702
2. Szerpentin	38,4	4632	29648	75,21	2537	0,0616	0,15625
1. Paesina mészkő	40,6	5178	35041	86,05	2456	0,0602	0,14778
3. Fluorit	31,5	3117	16366	52,16	3187	0,0598	0,19048
9. Acélgolyó, matt	48,1	7268	58269	446,02	7655	0,0163	0,12474
8. Acélgolyó, fényes	47,6	7118	56470	439,43	7782	0,0162	0,12605



Ugyanitt fényképeztük a hordozható kivitelű *PSZH* (Poverhnosztemer SZisztemü Hodakova) fajlagos felület mérő készüléket is. [Irodalom: Grigor Szemjonovics Hodakov: Tonkoje izmelcsenie sztroityelnüh. Moszka, 1972.] Működési elve hasonló a Blaine készülékéhez, a PSZH-4 típusú készülék leírását az MSZ 523-2:1975 szabvány tartalmazta, ma már nem használatos.

A légáteresztő képesség vizsgálatán alapú fajlagos felület mérési módszerek csak zárt pórusú anyagok esetén adnak tényleges értéket.

A cementtechnológiai kutatások során eredményesen használják a *BET eljárást* [Brunauer, S. - Emmett, P. H. - Teller, E.: Absorption of gases in multimolecular layers. Journal of the American Chemical Society. 1938. Vol. 60. pp. 309.]. A módszerrel a porfelület beborításához szükséges gázmennyiségből következtetnek a fajlagos felületre, amelybe a nyílt pórusú szemcsék belső felülete is beleértendő. A fényképen a CEMKUT Cementipari Kutató-Fejlesztő Kft BET készülékét mutatjuk

Fajlagos felület

Németül:	**Spezifische Oberfläche**
Angolul:	**Specific surface**
Franciául:	**Surface spécifique**

A *fajlagos felület* granulometriai ◆ fogalom, amely az egységnyi mennyiségű szemhalmaz szemeinek felületösszegét fejezi ki. Az egységnyi mennyiség alatt általában az egységnyi *tömeget* értik, de lehet az egységnyi *térfogat* is. A szemhalmaz fajlagos felülete a szemek átmérőjének csökkenésével fordított arányban növekszik, ezért elsősorban finomszemű halmazok (porok, darák) finomságának vagy őrlési finomságának ◆ kifejezésére használják.

Blaine fajlagos felület mérő készülék

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék mérőeszköze

A tulajdonképpeni fajlagos felület az egységnyi *tömegű* szemhalmaz szemeinek felületösszege, és mértékegysége m^2/kg, ami 10^3 mm^2/g, vagy 10^{-3} m^2/g értéknek felel meg. A fajlagos felület értéke az anyag testsűrűségének ◆ is függvénye, ezért nem kifejezetten szemeloszlás- (szemmegoszlás-) jellemző ◆.

Nagyságát általában a Blaine-féle légáteresztő képesség vizsgálattal (MSZ EN 196-6:1992) határozzák meg. A Blaine-féle fajlagos felületre követelmény értéket a visszavont MSZ 4702-2:1981 cement termékszabvány tartalmazott, az érvényes MSZ EN 197-1:2000 cement termékszabvány csak bizonyos főalkotórész (mészkő) vizsgálati feltételéül írja elő. A Blaine-féle módszer csak zárt pórusú anyagok esetén ad tényleges értéket, ezért a fajlagos felület mérésére különleges esetekben a BET-féle (Brunauer, S. - Emmett, P. H. - Teller, E. nevének kezdőbetűiből) gázadszorpciós eljárást (ISO 9277:1995) alkalmazzák, amelynek vizsgálati eredménye a nyílt pórusú szemek belső felületét is tartalmazza. Az MSZ EN 197-1:2000 cement termékszabvány a szilikapor ◆, mint főalkotórész finomságát követeli meg BET-féle fajlagos felületben kifejezve.

CEMKUT Cementipari Kutató-Fejlesztő Kft mérőeszköze

A térfogati fajlagos felület az egységnyi *testtérfogatú* szemhalmaz szemeinek felületösszege, azaz a szemek külső felülete összegének és a szemek e külső felülettel határolt térfogata összegének hányadosa. Mértékegysége m^2/m^3, ami 10^{-3} mm^2/mm^3 értéknek felel meg. A tulajdonképpeni fajlagos felületből úgy származtathatjuk, hogy annak értékét a szemek átlagos testsűrűségével mértékegység helyesen megszorozzuk. Például valamely 300 m^2/kg fajlagos felületű és 3000 kg/m^3 testsűrűségű szemhalmaz térfogati fajlagos felülete 900 mm^2/mm^3. Minthogy a térfogati fajlagos felület független a testsűrűségtől, ezért szemeloszlás- (szemmegoszlás-) jellemző, és kifejezhető úgy is, mint a reciprok beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemeloszlási görbe ◈ alatti terület hatszorosa.

Jelmagyarázat: ◈ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Lásd még a Noteszlapok "Szemeloszlás-jellemzők harmóniája, avagy grafoanalitikus számításmódja" című oldalát.

Megjelent a BETON szakmai havilap **2001. szeptember havi számának 14. oldalán**

Cementek és kiegészítőanyagok alkalmazása kémiai korrózióveszély esetén

A táblázatot az Olvasó, – ha egyetért a tartalmával – saját felelősségére alkalmazhatja.

Környezeti osztály	Meghatározó agresszív hatóanyagok	Környezeti hatás következménye		Várhatóan a **legjobb**	Várhatóan **jó**	Esetleg **még jó**	**Rossz**
				megoldás a korrózióállóság szempontjából			
XA1	Szulfátok	Beton	duzzadás	CEM I-SR 0, CEM II/B-S-MSR, CEM II/B-V-MSR, CEM II/B-M(S-V)-MSR, CEM III/B-SR	CEM I-SR 5, CEM II/A-S-MSR, CEM II/A-V-MSR, CEM III/A-MSR, CEM I + 33% V	CEM I + 20% V, CEM IV/B-SR	CEM I, ha nem SR, ill. kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR
	Savak		oldódás	CEM II/B-S + 6% Mk, CEM II/B-S + 11% D, CEM II/B-V + 6% Mk, CEM II/B-V + 11% D, CEM III/B	CEM II/A-S + 11% Mk, CEM II/A-S + 11% D, CEM II/A-V + 11% Mk, CEM II/A-V + 11% D, CEM III/A	CEM II/B-S, CEM II/B-V, CEM II/B-M(S-V)	CEM I; CEM II kiegészítőanyag nélkül; CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)
XA2	Szulfátok		duzzadás	CEM I-SR 0, CEM III/B-SR	CEM I-SR 3, CEM II/B-S-MSR, CEM II/B-V-MSR, CEM II/B-M(S-V)-MSR	CEM I-SR 5, CEM II/A-S-MSR, CEM II/A-V-MSR, CEM III/A-MSR, CEM I + 33% V	CEM I, ha nem SR, ill. kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR
	Savak		oldódás	CEM III/B	CEM II/B-S +6% Mk, CEM II/B-S + 11% D, CEM II/B-V + 6% Mk, CEM II/B-V + 11% D, CEM III/A	CEM II/A-S + 11% Mk, CEM II/A-S + 11% D, CEM II/A-V + 11% Mk, CEM II/A-V + 11% D	CEM I; CEM II kiegészítőanyag nélkül; CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)
XA3	Szulfátok		duzzadás	CEM III/B-SR + 4% Mk, CEM III/B-SR + 4% D	CEM I-SR 0, CEM III/B-SR	CEM I-SR 3, CEM II/B-S-MSR, CEM II/B-V-MSR, CEM II/B-M(S-V)-MSR	CEM I, ha nem SR; CEM II, ha nem MSR; CEM III/A
	Savak		oldódás	CEM III/B + 4% Mk, CEM III/B + 4% D	CEM III/B	CEM II/B-S +6% Mk, CEM II/B-S + 11% D, CEM II/B-V + 6% Mk, CEM II/B-V + 11% D, CEM III/A	CEM I; CEM II kiegészítőanyag nélkül; CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL); CEM III/A
XA4(H)	Szulfátok és savak		duzzadás és oldódás	CEM I-SR 0 + 18% Mk, CEM I-SR 0 + 11% D, CEM II/B-S-MSR + 6% Mk, CEM II/B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-V-MSR + 6% Mk, CEM II/B-V-MSR + 11% D, CEM III/B-SR	CEM I-SR 5 + 18% Mk, CEM I-SR 5 + 11% D, CEM II/A-S-MSR + 11% Mk, CEM II/A-S-MSR + 11% D, CEM II/A-V-MSR + 11% Mk, CEM II/A-V-MSR + 11% D, CEM III/A-MSR	CEM I-SR 5 + 20% V, CEM IV/B-SR	CEM I, ha nem SR és kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR és kiegészítőanyag nélkül
XA5(H)	Szulfátok és savak		duzzadás és oldódás	CEM I-SR 0 + 18% Mk, CEM I-SR 0 + 11% D és mindegyiket *ajánlott* megfelelő felületi bevonattal ellátni	CEM I-SR 3 + 18% Mk, CEM I-SR 3 + 11% D, CEM II/B-S-MSR + 6% Mk, CEM II/B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-V-MSR + 6% Mk, CEM II/B-V-MSR + 11% D, CEM III/B-SR	CEM I-SR 5 + 18% Mk, CEM I-SR 5 + 11% D, CEM II/A-S-MSR + 11% Mk, CEM II/A-S-MSR + 11% D, CEM II/A-V-MSR + 11% Mk, CEM II/A-V-MSR + 11% D, CEM III/A-MSR	CEM I, ha nem SR és kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR és kiegészítőanyag nélkül
XA5(H)	Savak		oldódás	CEM III/B és *ajánlott* megfelelő felületi bevonattal ellátni	CEM III/B és *ajánlott* megfelelő felületi bevonattal ellátni	CEM III/B	CEM I, CEM II, CEM III/A
XA6(H)	Szulfátok és savak		duzzadás és oldódás	CEM I-SR 0 + 18% Mk, CEM I-SR 0 + 11% D CEM III/B-SR + 4% Mk, CEM III/B-SR + 4% D és mindegyikre megfelelő felületi bevonatot *kell* felhordani	CEM I-SR 0 + 18% Mk, CEM I-SR 0 + 11% D CEM III/B-SR + 4% Mk, CEM III/B-SR + 4% D és mindegyikre megfelelő felületi bevonatot *kell* felhordani	CEM I-SR 3 + 18% Mk, CEM I-SR 3 + 11% D, CEM II/B-S-MSR + 6% Mk, CEM II/B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-V-MSR + 6% Mk, CEM II/B-V-MSR + 11% D, CEM III/B-SR és mindegyikre megfelelő felületi bevonatot *kell* felhordani	CEM I, ha nem SR 0 és kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR és kiegészítőanyag nélkül; CEM III/A
XD1	Kloridok	Acélbetét	lyukkorrózió	CEM III/B	CEM I + 11% D, CEM I + 20% V, CEM II/B-V, CEM II/B-M(S-V), CEM II/B-S + 11% D, CEM III/A	CEM II/B-S	CEM I kiegészítőanyag nélkül, CEM II/A, CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)
XD2	Kloridok		lyukkorrózió	CEM III/B	CEM II/B-V+ 11% D	CEM III/A	CEM I, CEM II/A, CEM II/B kiegészítőanyag nélkül, CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)
XD3	Kloridok		lyukkorrózió	CEM III/B	CEM II/B-V + 11% D, CEM III/A	CEM I + 11% D, CEM I + 20% V, CEM II/B-S + 11% D, CEM II/B-V, CEM II/B-M(S-V)	CEM I kiegészítőanyag nélkül, CEM II/A, CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)
XD1	Kloridok és szulfátok	Acélbetét és beton	lyukkorrózió és duzzadás	CEM I-SR 0 + 20% V	CEM I-SR 5 + 11% D, CEM I-SR 5 + 20% V, CEM II/B-V-MSR, CEM II/B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-M(S-V)-MSR, CEM III/A-MSR	CEM II/B-S-MSR	CEM I, ha nem SR és kiegészítőanyag nélkül; CEM II/A; CEM II/B, ha nem MSR
XD2	Kloridok és szulfátok		lyukkorrózió és duzzadás	CEM I-SR 0 + 20% V	CEM I-SR 0 + 11% D, CEM I-SR 0 + 20% V	CEM I-SR 3 + 11% D, CEM I-SR 3 + 20% V, CEM III/B-SR	CEM I, ha nem SR és kiegészítőanyag nélkül; CEM II; CEM III/A
XD3	Kloridok és szulfátok		lyukkorrózió és duzzadás	CEM I-SR 0 + 20% V	CEM I-SR 3 + 11% D, CEM I-SR 3 + 20% V, CEM II/B-V-MSR + 11% D, CEM III/B-SR	CEM I-SR 5 + 11% D, CEM I-SR 5 + 20% V, CEM II/B-V-MSR, CEM II/B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-M(S-V)-MSR, CEM III/A-MSR	CEM I, ha nem SR és kiegészítőanyag nélkül; CEM II/A; CEM II/B, ha nem MSR

A táblázatban szereplő valamennyi cement feleljen meg az MSZ EN 197-1:2011 szabvány követelményének, az MSR jelű mérsékelten szulfátálló cementek elégítsék ki az MSZ 4737-1:2013 szabvány követelményeit is.

A CEM III/A mérsékelten szulfátálló kohósalakcement jelében nem feltétlenül szerepel az MSR jel, a CEM III/B szulfátálló kohósalakcement jelében nem feltétlenül szerepel az SR jel.

A cement mellé külön adagolandó kiegészítőanyag (K) e táblázatban bordó színnel írt %-os értéke ($K_C^{\%}$) a kiegészítőanyagnak a hatékony kötőanyag-tartalomba számításba vehető, a *cementtartalomra (C) vonatkoztatott* megengedett legnagyobb %-os részaránya: ($K_C^{\%} = 100 \times K/C$)
A cement mellé külön adagolandó kiegészítőanyag-tartalomnak a *kötőanyag-tartalomra (C+K) vonatkoztatott* %-os értéke: $K_{(C+K)}^{\%} = 100 \times K_C/(K_C + 1)$ összefüggéssel határozható meg. Például, ha $K_C^{\%} = 18\%$, azaz $K_C = 0{,}18$, akkor $K_{(C+K)}^{\%} = 15{,}3\%$

Kiegészítőanyagok jelölése: D = 1. osztályú szilikapor LL = Mészkőliszt Mk = „A” típusú metakaolin S = Granulált kohósalak V = Savanyú pernye

Kausay, 2016. augusztus, frissítve: 2017. június

ÉPÍTÉSÜGYI MINISZTÉRIUM MŰSZAKI FŐOSZTÁLYA

1. sz. közlemény

CEMENTEK TAKARÉKOS FELHASZNÁLÁSA

Különlenyomat
az Építésügyi Értesítő V. évfolyam 2. számából

É. M. ÉPÍTŐIPARI KÖNYV- ÉS LAPKIADÓ
BUDAPEST, 1953

I. sz. táblázat

Cementfajták megnevezése és jelölése

A cement			
szilárdsági osztálya	szilárdsági osztályát feltüntető jel	megnevezése	jelzése a II. táblázatban
600-as	C 600	Homogén portlandcement	C 600 p
500-as	C 500	Különleges portlandcement (S 54)	C 500 s
		Homogén portlandcement	C 500 p
		Kohósalak portlandcement	C 500 k
		Traszportlandcement	C 500 t
400-as	C 400	Kohósalak portlandcement	C 400 k
		Traszportlandcement	C 400 t
300-as	C 300	Kohósalak portlandcement	C 300 k
		Traszportlandcement	C 300 t

II. sz. táblázat

Cementfajták felhasználási táblázata

A beton rendeltetése	szilárdsági osztálya	Az alkalmazandó cement szilárdsági osztálya és jelzése általában*	agresszív talajokban	vízzárás követelménye esetében ajánlatos	Megjegyzés
Betonalap általában	B 50	**C 300** C 400	nem megfelelő	nem megfelelő	
	B 70	**C 300** C 400 *(C 500)*	I. o. és II. o.: C 300 k III. o.: C 500 s	C 300 t	
	B 100			**C 300 t** C 400 t	Vízalatti alapbeton anyaga
Gépalapok	B 100	**C 300** C 400 *(C 500)*	I. o. és II. o.: C 300 k III. o.: C 500 s	**C 300 t** C 400 t	
	B 140	C 300 **C 400** C 500			
	B 200	C 400 **C 500**	I. o. III. o.: C 500 s	C 400 t	
Kitöltőbeton	B 50	**C 300** C 400	nem megfelelő	nem megfelelő	Teherhelő betonok anyaga is
	B 70		I. o. és II. o.: C 300 k III. o.: C 500 s	C 300 t	
	B 100			**C 300 t** C 400 t	Vízalatti kitöltő beton
Felmenő teherhordó szerkezeti beton	B 70	**C 300** C 400 *(C 500)*		C 300 t	Csak időjárás hatásának közvetlenül nem kitett ép. szerk.-ek betonja
	B 100	**C 300** C 400 *(C 500)*		**C 300 t** C 400 t	Téli időszakban heterogén cementek nem alkalmazhatók**
	B 140	C 300 **C 400** C 500		C 300 t C 400 t C 500 t	
	B 200	C 400 **C 500**		**C 400 t** C 500 t	
Épületszerkezetek helyszíni vasbetonja	B 140	C 400 C 500	I. o. és II. o.: C 400 k III. o.: C 500 s	**C 400 t** C 500 t	Téli időszakban heterogén cementek nem alkalmazhatók**
	B 200	**C 500** C 600	I. o.—III. o.: C 500 s	C 500 t	
	B 280	C 500 **C 600**		C 500 t	
Hidak felszerkezetének vasbetonja	B 200	**C 500 p** C 600			
	B 280	C 500 p **C 600**			
Mély-, és vízépítési műtárgyak helyszíni vasbetonja	B 140	C 400 C 500	I. o. és II. o.: C 400 k III. o.: C 500 s	C 400 t	Téli időszakban heterogén cementek nem alkalmazhatók**
	B 200	**C 500** C 600	I. o.—III. o.: C 500 s	C 500 t	
	B 280	C 500 **C 600**			
Helyszínen vagy üzemben előregyártott, illetve elő- és utófeszített szerkezetek betonja	B 200	**C 500** C 600			Helyszíni előregyártás esetén téli időszakban heterogén cement nem alkalmazható
	B 280	**C 500 p** C 600			
	B 400	C 500 p **C 600**			
	B 600	C 600.			
Csatornacsövek előregyártott betonja	B 200	**C 500 p** C 600	I. o.: C 500 k, II. o.—III. o.: C 500 s		Csak olyan technológia alkalmazható, amely a vízzárás követelményeit biztosítja
	B 280	**C 500 p** C 600			
Munkaárokban csömöszölt csatornavezetékek betonja	B 200	**C 500 t** C 500 p *(C 600)*	I. o.: C 500 k, II. o.—III. o.: C 500 s		
	B 280	**C 500 t** C 500 p C 600			
Betonútburkolat betonja		*(C 500 p)* **C 600**			
Aszfalt- v. kőburkolatok alapbetonja		C 500			Téli időszakban heterogén cementek nem alkalmazhatók

* Megjegyzés: Ha csupán a cement szilárdsági osztálya van feltüntetve, akkor e szilárdsági osztályba tartozó bármely cement használható.
** Ha a heterogén cementekből készült betonok hővédelmére előírt feltételek teljes mértékben nem biztosíthatók,

Az 1953. évben forgalomba kerülő cementekkel készült betonok tájékoztató keverési adatai

Betonminőség		Cementminőség:	„600"						„500"			
		Adalékminőség	I.		II.		III.		I.		II.	
		Konzisztencia	fn.[1]	pl.[2]	fn.	pl.	fn.	pl.	fn.	pl.	fn.	pl.
	B 50	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.										
	B 70	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.										
	B 100	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.			120 124 1.03	150 160 1.07					150 130 0.86	170 153 0.90
	B 140[3]	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.			160 138 0.83	190 170 0.90			170 120 0.70	200 148 0.74	200 140 0.70	240 178 0.74
	B 200	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.	170 117 0.69	210 153 0.73	210 145 0.69	240 175 0.73			220 120 0.54	260 150 0.58	270 145 0.54	320 185 0.58
	B 280	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.	230 124 0.54	280 162 0.58	280 150 0.54	330 192 0.58			300 123 0.41	350 157 0.45	400 164 0.41	450 200 0.45
	B 400	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.	320 134 0.42	400 180 0.45					450 144 0.32	550 183 0.34		

Betonminőség		Cementminőség:	„500"	„400"					„300"			
		Adalékminőség	III.	I.		II.		III.	I.		II.	
		Konzisztencia	fn.	pl.	fn.	pl.	fn.	pl.	fn.	pl.	fn.	pl.
	B 50	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.			110 115 1.05		160 170 1.05			150 130 0.86		210 180 0.85
	B 70	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.	150 162 1.08		150 132 0.88		200 175 0.88			190 133 0.70		250 175 0.70
	B 100	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.	190 164 0.86	250 225 0.90	200 142 0.71	225 170 0.75				250 138 0.55	230 174 0.60	
	B 140[3]	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.	240 170 0.70	325 240 0.74	210 120 0.57	250 152 0.61	270 154 0.57	320 195 0.61		400 164 0.41		
	B 200	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.			310 133 0.43	370 170 0.46						
	B 280	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.										
	B 400	Cement, kg/m³ víz, l/m³ vízcementtény.										

[1] fn.: földnedves

[2] pl.: plasztikus

[3] Vasbetonszerkezetekben felhasználásra kerülő B 140 beton cementadagolásának megállapításakor a vasbetétek rozsdavédelme miatt tekintettel kell lenni az Építőipari Kiviteli Szabályzat 15. sz. füzetének (Beton- és vasbetonmunka) legkisebb cementadagolásra vonatkozó előírásaira is.

Általában a bekeretezett betonösszetételeket kell alkalmazni. A többi közölt összetétel csak indokolt esetben használható (pl. vízzárási követelmény esetében). A fenti táblázatban nem közölt betonok készítését műszaki, vagy gazdasági szempontok miatt általában kerülni kell.

CEMENTEK TAKARÉKOS FELHASZNÁLÁSA

A cementgazdálkodás tervszerűsége és cementek takarékos felhasználása érdekében az alábbiak figyelembevétele kötelező.

1. A cementfajta megválasztása.

1,1 Cementiparunk az 1953. évben is a 89. sz. Miniszteri utasítás „Betonok és habarcsok" c. mellékletének (továbbiakban röviden 89. sz. U.) A. I. 13 pontja szerinti cementfajtákat hozza forgalomba. E cementfajták megnevezése és jelölése az I. táblázatban található.

1.2 A cementfajtát a beton és vasbeton szerkezetek jellegétől, a beton megkívánt szilárdságától és vele szemben támasztott különleges követelményektől, valamint az építmény fajtájától függően a II. sz. táblázat adatai szerint kell megválasztani.

1.3 Ha a II. sz. táblázat szóbanforgó betonra egyetlen cementfajtát tartalmaz, úgy ezt a cementfajtát kell választani, amennyiben pedig többféle cement használatára is lehetőséget nyújt, akkor ezek közül elsősorban a kövér betűvel szedett cementfajtát kell választani. A zárójel között (dőlt betűvel) feltüntetett cementfajta csak indokolt esetben használható. Törekedni kell azonban arra, hogy ugyanazon építési helyen, lehetőség szerint, minél kevesebb cementfajta kerüljön felhasználásra. Ezért minden építési munkahelyen még kell állapítani azt a cementfajtát, amely a II. sz. táblázat adatai szerint az építéshez felhasználható cementekből a legnagyobb mennyiséget teszi ki és a lehetőséghez képest ugyanazon cementfajtát kell választani azokon a helyeken is, ahol a táblázat adatai annak használatát megengedik, ha ezáltal az alkalmazandó cementfajták száma csökken. Különösen törekedni kell a cementfajták számának csökkentésére abban az esetben, ha egy munkahelyen felhasználandó összes cementmennyiség nem több, mint egy vagontétel, ha egyes cementfajtákból vagontételnél kevesebb volna szükséges, vagy az egyes fajtákból — az összes felhasználandó cementmennyiséghez képest — aránytalanul kis mennyiség szükséges.

1.4 Aljzatbetonok és különböző habarcsok összetételét a 89. sz. U. B. II. 5., valamint C. 4., 5., 6. és 7. pontjaiban foglalt előírások szerint akként kell megválasztani, hogy a munkahelyen felhasználandó cementfajták száma a lehetőség szerint ne szaporodjon. Ettől csak abban az esetben szabad eltérni, ha az aljzatokhoz és habarcsokhoz felhasználandó eltérő cementfajta mennyisége a betonokhoz felhasználandó cementmennyiség 15 százalékát, de legalább egy vagontételt kitesz, vagy ha az aljzatok és habarcsok készítése a beton és vasbeton munkák teljes befejezése után történik.

2. Cementtakarékoskodás betonokban.

1953. április hó 1-től kezdődőleg:

2.1 teherhordó betonszerkezetekhez III. osztályú adalékanyagot használni nem szabad.

2.2 II. osztályú adalékanyagot kell használni abban az esetben, ha a vízzárás különleges követelmény és ennélfogva homokdúsabb adalékanyag alkalmazása indokolt. (Lásd a 89. sz. U. A. II. 1. 332. pontját.)

2.3 B200, vagy nagyobb szilárdsági osztályú betonokban I. osztályú, illetve finomsági modulussal is jellemzett, pontos szemösszetételű adalékanyagot kell használni. (Lásd a 89. sz. U. A. II. 1.333. pont. 2. sz. táblázatát.)

2.4 Aljzatbetonokhoz III. osztályú adalékanyag is használható. Ha azonban a helyiség hasznos terhe az 500 kg/m²-t nem haladja meg, általában mészsalakbeton aljzatot kell alkalmazni. A mészsalakbeton-aljzat legalább 8 cm vastag legyen, összetétele: 1 rész oltott mész, 4 rész salak. A salak kilúgozott, vagy szabadban legalább 6 hónapig tárolt, vöröses-lilás színű, legfeljebb 30 mm szemnagyságú legyen. Mészsalakbetonaljzatot hűvös, vagy fagyveszélyes időben készíteni nem szabad. A mészsalakbeton salaktartalma, legfeljebb 50 százalékig, homokos kaviccsal, vegyes adalékanyaggal (murva-, tégla-, illetve kőtörmelékkel) is helyettesíthető.

2.5 Május 1 és szeptember 30 között készülő betonszerkezetekben C 300 és C 400 jelű cementek alkalmazása esetében, a beton megkívánt kockaszilárdságát 60 napos korra kell vonatkoztatni. Ennek megfelelően e betonok cementadagolását a 89. sz. U. 5. sz. táblázata szerint kell megállapítani. A kivitel során (a kizsaluzási időpont megállapítása, a megterhelhetőség időpontja tekintetében stb.) figyelembe kell venni azt a körülményt is, hogy e cementekből készült betonok 28 napos kockaszilárdsága a 60 napos kockaszilárdságnak mindössze 75—85 százaléka.

2.6 Betonalapokat és elegendő vastagságú felmenő betonfalakat úsztatott kövek alkalmazásával kell készíteni minden olyan esetben, ha megfelelő minőségű kő a gazdaságosság elvének szem előtt tartásával beszerezhető. Mérlegelni kell azonban azt is, hogy cementfelhasználás szempontjából nem lenne-e gazdaságosabb betonalap helyett vékony, esetleg bordázott vasbetonlemez alap alkalmazása.

2.7 Gépalapok felmenő részét tömör szerkezet helyett általában erőteljesen kiképzett keretvázas vasbeton szerkezettel kell készíteni olymódon, hogy a dinamikus hatásokat kiegyensúlyozó tömeg javarészét, lehetőség szerint homok, kavics vagy más feltöltési anyag képezze.

2.8 Az 1953-ban forgalomba kerülő cementek tájékoztató keverési adataira vonatkozólag a 89. sz. U. 46. oldalán lévő 4. sz. táblázat helyett, az alábbi III. sz. táblázatban feltüntetett értékeket kell figyelembe venni:

3. Falazott szerkezetek fokozott alkalmazása.

Teherhordó kő- és téglaszerkezeteket kell alkalmazni, az alábbiak szerint, minden olyan esetben, ha az statikai és üzembiztonsági szem-

pontból megfelelő és gazdaságossági, valamint technológiai szempontból nem előnyteles.

3.1 Épületek szokványos alapjait általában megfelelő minőségű kő-, illetve téglafalazatból kell készíteni. E rendelkezéstől csak akkor szabad eltérni, ha beton- vagy vasbetonalap alkalmazása statikai vagy egyéb szempontból szükséges, illetve ha falazott alap alkalmazása gazdasági vagy kiviteli szempontból nagyon hátrányos. (Pl. 40 cm-nél keskenyebb alapok esetében nagyobb mélységű falazat elkészítése nehézkes.)

3.2 Dinamikus hatásnak ki nem tett gépalapokat teljes egészében falazatból kell készíteni. Gondoskodni kell azonban arról, hogy ezen alapok esetleg összpontos tehernek kitett felső síkján megfelelő teherelosztó réteg készüljön. Egyéb gépalapok egyenletesen elosztott terhelésűnek tekinthető alsó része, a lehetőség szerint, megfelelő minőségű kő-, ill. téglafalazatból készüljön. E rendelkezéstől csak akkor szabad eltérni, ha beton- vagy vasbetonalap alkalmazása statikai vagy egyéb szempontból szükséges, illetve ha falazott alap alkalmazása gazdasági szempontból nagyon hátrányos.

3.3 Szokványos emeletmagasságú és födémenként 500 kg/m²-nél nem nagyobb hasznos terhelésű lakó-, köz- és üzemi épületek főfalait és derékszögű sarkokkal bíró pilléreit a négy legfelső emeletsoron tégla, ill. vasalttégla szerkezettel kell készíteni, ha azok széltehertől hatásán kívül más vízszintes erőhatásnak nincsenek kitéve. Ugyancsak téglaszerkezettel kell készíteni földszintes csarnokok falait és pilléreit, ha azok daruzatlanok és főfalaik szabad magassága nem több, mint 8 m.

Téglafalazat alkalmazásának lehetőségét a felsoroltaktól eltérő egyéb esetekben is mérlegelni kell.

3.4 Szokványos terhelésű, 12 cm és ennél vastagabb tégla- és természkőfalakban lévő ajtó- és ablaknyílások, valamint kiváltások áthidalására általában előregyártott vasalt téglabetétes gerendákat, vagy téglaboltívet kell alkalmazni. A boltív 1,30 m szabad nyílásig „egyenes boltív" lehet; ha a szabad nyílás ennél nagyobb, körszeletalakú boltívet kell építeni, kivéve, ha a körszeletalak szerkezeti szempontokkal nem egyeztethető össze.

3.5 Pincefödémet kosárív alakú dongaboltozatból vagy 3 m-nél kisebb nyílású falak, illetve boltívek közötti szegmens boltozatból kell készíteni, ha a boltvállt a talajszint alá helyezhető, valamint:

a) ha a földszinti padlósík magassága a talaj felett legfeljebb 1,20 m és a gyámfalat legalább 2 emelet súlya terheli,

b) ha a földszinti padlósík magassága a talaj feletti legfeljebb 80 cm és a gyámfalat legalább 1 emelet súlya terheli,

c) ha a földszinti padlósík magassága a talaj felett legfeljebb 50 cm és földszintes épületről van szó.

Pinceboltozat alkalmazása esetében a gyámfalak állékonyságát minden esetben statikai számítással kell igazolni. A pinceboltozat vastagsága 12 cm-nél kisebb nem lehet. Pinceboltozat alkalmazása esetében gondoskodni kell arról, hogy az oldalerőkkel terhelt szélső gyámfalak talajszint alatti része körül hézag ne maradjon és a passzív földnyomás stabilizáló hatását kifejthesse. E boltozatokat az MNOSz

109—51. szerinti I. osztályú falazótéglából (legalább 100 kg/cm² szilárdság) és legalább H 10 minőségű habarcs felhasználásával kell készíteni.

E rendelkezés nem érinti a BM 01/67—1951. VI. és a BM 0318—1952. VI. rendeletek hatályát.

3.6 Szokványos lakó- és középületeken, valamint födémenként 500 kg/m²-nél nem nagyobb hasznos terhelésű ipari és mezőgazdasági üzemi épületeken, előregyártott vasbeton gerendák közötti vasbeton lemez födémet alkalmazni nem szabad. Helyettük elsősorban pernye vagy más cementszegény födémkitöltő elemeket (pl. ívekkel megerősített laptéglaboltozatot), másodsorban téglabetétes vasbeton lemezeket kell alkalmazni. Ez utóbbi szerkezet tekintetében a 3656/F. 27—1/1951. sz., valamint az ezt módosító 3656/E/27—2/1951. sz. É. M. rendeletekben foglaltak irányadók.

3.7 Vasbeton falkoszorú az okvetlenül szükségesnél nagyobb mérettel és mértékben nem alkalmazható. Ezért az MNOSZ 15022 A 6.5 szerinti minimális követelményeket túllépni csak indokolt esetben szabad.

4. Cementtakarékos padlók és aknák.

4.1 Simított betonpadlók helyett, ahol ez az üzemmel összeegyeztethető, lapjára vagy élére állított tégla-, illetve aszfaltpadlót kell készíteni. A téglapadló kivitelezéséhez azonban csak nagy szilárdságú falazó tégla (legalább 150 kg/m² szilárdságú) használható. Forgalommal terhelt közlekedő utak más burkolattal is készíthetők.

4.2 Mind a fapadlók, mind a hideggpadlók pótlására padlásburkoló téglákból készült padlóburkolatot is számításba kell venni. E burkolatot a 2.4 szerinti alzatra kell fektetni.

4.3 Olyan ipari üzemekben, ahol kisebb és középnagy gépek kerülnek felállításra és ezek elhelyezése előre nem ismeretes vagy bizonytalan, a gépek alapozását vastagabb átmenő betonlemezzel megoldani nem szabad. A vastag betonlemez helyett az egyes gépeket a gépelrendezés terveinek elkészülte után külön-külön kell alapozni és a közöttük lévő területet a 4.1 szerinti padlóval ellátni.

4.4 Szabadban lévő padlóburkolatokat, ú. m. épület körüli vagy egyébütt létesítendő járdákat, állatkifutókat, ételő tereket stb. általában a 4.1 szerinti épélű téglából (esetleg lapmentén hasadó termésköből vagy aszfaltból) kell készíteni. Kötött talajra kerülő külső burkolat alá kavics vagy törmelék ágyazatot kell készíteni.

4.5 Padló alatti aknák (kábelcsatornák, vezetékaknák és hasonlók) építésénél betonanyag alkalmazását, a lehetőség szerint, kerülni kell.

5. Cementtakarékosság az útépítésben.

5.1 Aszfalt, illetve kőburkolatok alá alapként betonalzat csak az illetékes miniszter jóváhagyásával alkalmazható.

5.2 Cementtel történő talajszilárdítás esetében általában C 400, kivételesen C 300 jelzésű cement használható.

6. Záró rendelkezések.

6.1 Jelen utasítás megjelenése napján lép érvénybe.

6.2 A tervezést érintő rendelkezések végrehajtásáért a tervező vállalat igazgatója, a kivitelezést érintőkért pedig a kivitelező vállalat főmérnöke felelős.

6.3 E rendelet nem vonatkozik olyan folyamatban lévő építkezések fő tehervivő szerkezeteire, melyeknek tervdokumentációja már a kivitelező vállalatnál van. Egyebekben a kivitelező vállalat a tervező vállalat bevonásával rövid úton tartozik a rendelet végrehajtásához szükséges lépéseket megtenni.

Budapest, 1953. január 2.

Sebestyén Gyula s. k.
főosztályvezető.

1. táblázat: Ajánlás a cementek felhasználására cement fajták és környezeti osztályok szerint

(Készült a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék kutatási témájához. Készítette: Dr. Kausay Tibor Budapest, 2010. július 23.)

Oszlop száma			O1.	O2.	O3.	O4.	O5.	O6.	O7.	O8.	O9.	O10.	O11.	O12.	O13.	O14.	O15.	O16.
Sor száma	Cement fajta MSZ EN 197-1:2000 MSZ 4737-1:2002 CEM		Környezeti osztály, MSZ 4798-1:2004 [1]															
			XN(H) X0(H)	XC1 XC2 XC3	XC4	XD1 XD2 XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XF2(H)	XF3(H)	XA1 XA2	XA3	XK1(H) XK2(H)	XK3(H) XK4(H) XK5(H)	XV1(H) XV2(H)	XV3(H)
			Megjegyzés a környezeti osztályra (minden cement esetében)					m9	m9	m9	m9 m17	m9 m17	m16	m16	m9 m11 m12	m9 m11 m12	m10 m13	m10 m13
S1.	I 32,5 R	Megjegyzés a cementre (minden környezeti osztályban)	☒	☒	☒	☒ m7	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒ m4	○	○	○	☒	☒
S2.	I 32,5 R-S {S-54}		☒	☒	☒	☒ m7	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	○	○	☒	☒
S3.	I 42,5 N		☒	☒	☒	☒ m7	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒ m4	○	☒	☒	☒	☒
S4.	I 42,5 N-S		☒	☒	☒	☒ m7	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
S5.	I 42,5 R		☒	☒	☒	☒ m7	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒ m4	○	☒ m22	☒ m22	☒	☒
S6.	I 52,5 N		☒	☒	☒	☒ m7	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒ m4	○	☒ m22	☒ m22	☒	☒
S7.	II/A-S 42,5 N		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒ m8	☒	☒	☒ m4 m23	○	☒ Δ4 m8	☒ Δ4 m8	☒	☒
S8.	II/B-S 32,5 R		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒ m4	○	Δ4	○ m0	☒	☒
S9.	II/B-S 42,5 N		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒ m8	☒	☒	☒ m4	○	☒ Δ4 m8	☒ Δ4 m8	☒	☒
S10.	II/A-P 42,5 N		☒	☒	☒	☒	☒	○ m0	☒ m21	○ m0	☒	☒	○	○	☒ Δ4	☒ Δ4	☒	☒
S11.	II/A-V 32,5 R-S	m1	☒	☒	☒	☒	☒	☒ m21	☒ m21	☒ m21	☒	☒	☒	☒	Δ4	○ m0	☒	☒ m14
S12.	II/A-V 42,5 N	m1	☒	☒	☒	☒	☒	☒ m21	☒ m21	☒ m21	☒	☒	☒ m4 m23	○	☒ Δ4	☒ Δ4	☒	☒ m14
S13.	II/B-V 32,5 N	m1	☒	☒	☒	☒	☒	Δ1 m21	☒ m21	Δ1 m21	Δ1	☒	○	○	Δ4	○ m0	☒	☒ m14
S14.	II/B-V 32,5 R	m1	☒	☒	☒	☒	☒	Δ1 m21	☒ m21	Δ1 m21	Δ1	☒	○	○	Δ4	○ m0	☒	☒ m14
S15.	II/A-M (V-L) 42,5 N	m1 m2	☒	☒	☒	Δ5	☒	☒ m21	☒ m21	☒ m21	☒	☒	☒ m4	○	☒ Δ4	☒ Δ4	☒	☒ m14
S16.	II/B-M (P-V) 32,5 R	m1	☒	☒	☒	☒	Δ1	○ m0	Δ1 m21	○ m0	○ m0	Δ1	○	○	○ m0	○ m0	☒	☒ m14
S17.	II/B-M (V-L) 32,5 N	m1 m2	☒	☒ m5 m6	○ m0	○ m0 m20	Δ1	○ m0	Δ1 m21	○ m0	○ m0	Δ1	○	○	Δ4	○ m0	☒	☒ m14
S18.	II/B-M (V-L) 32,5 R	m1 m2	☒	☒ m5 m6	○ m0	○ m0 m20	Δ1	○ m0	Δ1 m21	○ m0	○ m0	Δ1	○	○	○ m0	○ m0	☒	☒ m14
S19.	III/A 32,5 N	m19	☒	☒ m5	☒ m5	☒	☒	Δ1	☒	Δ1 Δ2	☒	☒	☒ m4	○	Δ4	○ m0	☒	☒ m14
S20.	III/A 32,5 N-MS	m19	☒	☒ m5	☒ m5	☒	☒	Δ1	☒	Δ1 Δ2	☒	☒	☒	○	Δ4	○ m0	☒	☒ m14
S21.	III/B 32,5 N-S		☒	☒ m5	☒ m5	☒ m5	Δ1	Δ1	Δ1	Δ1 Δ3	Δ1	Δ1	☒ m15	☒ m15	○	○	☒	☒ m14
S22.	V/A (S-V) 32,5 N	m3	☒			☒ m18							Δ6	Δ6	○	○	☒	☒ m14

Jelmagyarázat: ☒ Ajánlott ○ Nem ajánlott Δ Feltételesen ajánlott

Az 1. táblázat az **m** és Δ megjegyzésekkel együtt kezelendő.

[1] A környezeti osztályok jelölése az MSZ 4798-1:2004 szabvány jeleit követi, kivéve a szabvány kiadása után megfogalmazott XF2(H) és XF3(H) jelű környezeti osztályt, amelyben a fagyálló beton légbuborékképző adalékszer nélkül készíthető, és amely környezeti osztályokat a korábbi publikációkban XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) jellel jelöltük. Az XK(H) környezeti osztályok tagolása is megváltozott az MSZ 4798-1:2004 szabványhoz képest. (Lásd például: Cement-beton Kisokos, HOLCIM, 2008)

Megjegyzések az 1. táblázathoz

m Megjegyzések a környezeti osztályokra és a cementekre

m0 Az adott esetre nem ajánlott cementek (jele az 1. táblázatban: ○) is felhasználhatók, ha az adott környezeti osztályban való alkalmazásukra vonatkozó építésügyi alkalmassági engedélyük van.

m1 A cementhez használt V jelű, savanyú pernye izzítási vesztesége legföljebb 5 tömeg% lehet; reakcióképes CaO tartalma legföljebb 10 tömeg% lehet és SiO_2 tartalma legalább 30 tömeg% legyen.
A friss beton tényleges testsűrűsége és levegőtartalma mindig összehasonlítandó a tervezett értékkel, de ennek elvégzésére *V* jelű pernyés cement esetén különösen ügyelni kell.

m2 A mészkőliszt a DIN 1045-2:2008 szabvány szerint LL jelű legyen, azaz összes szerves széntartalma (TOC) ≤ 0,2 tömeg%. Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány csak L jelű mészkőlisztet ír elő, amelynek az összes szerves széntartalma (TOC) ≤ 0,5 tömeg%.

m3 Ilyen összetételű CEM V/A (S-V) kompozitcementet a DIN 1045-2:2008 német, az ÖNORM B 4710-1:2007 osztrák, az NF EN 206-1; P 18-325-1:2009 (NAD) francia, és az SS 137003:2002 svéd szabvány nem sorol föl.

m4 Az XA2 környezeti osztályban MS jelű mérsékelten szulfátálló vagy S jelű szulfátálló cement használandó, ill. ha a betonra ható agresszív víz SO_4^{2-} tartalma ≤ 1500 mg/liter, akkor a CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-V, CEM II/A-LL, CEM II/A-M (S, V, LL) és CEM/III/A jelű cement és pernye megfelelő arányú keveréke is használható.

m5 Az előírt legkisebbhez képest + 20 kg/m^3 kötőanyag adagolandó.

m6 XC3 környezeti osztályban nem ajánlott.

m7 A tiszta portlandcementek (CEM I) *kevésbé akadályozzák* a kloridvándorlást (migrációt), mint a heterogén CEM II (nem mészkőlisztes) portlandcementek és a CEM III kohósalakcementek: utóbbiak az XD esetekben jóval kedvezőbbek.

m8 Ausztriában ez az autópályák előírt, ÖNORM B 3327-1:2005 szabvány szerinti cementje, DZ = Deckenzement változatban.

m9 Meghosszabbított (vizes/nedves/párazárós) utókezelés szükséges bármelyik cement alkalmazása esetén az ÖNORM B 4710-1:2007 NAD 17. táblázata szerint vagy a beton 14 napos koráig:

Szilárdulás sebessége	**Gyors**	**Közepes**	**Lassú**	**Nagyon lassú**
A beton 2 és 28 napos átlagos nyomószilárdságának viszonya: $f_{cm,2}/f_{cm,28}$	≥ 0,5	0,3 ≤ < 0,5	0,15 ≤ < 0,3	< 0,15
Környezeti osztály	Utókezelés megkövetelt időhossza			
X0	12 óra	12 óra	24 óra	2 nap
XC1, XC2, XC3, XF1, XA1, XM1	2 nap	3 nap	4 nap	7 nap
Összes többi környezeti osztály	3 nap	7 nap	10 nap	14 nap

m10 A beton repedés-mentessége érdekében meghosszabbított (vizes/nedves/párazárós) utókezelés szükséges bármelyik cement alkalmazása esetén. A meghosszabbított utókezelést az m9 megjegyzés szerint kell végezni.

m11 Csak ≥ 42,5 szilárdsági osztályú cementek ajánlottak.

m12 A kopásállósági osztályokhoz előírt legkisebb szilárdságok a Holcim Cement-beton Kisokos (2008) 8.1. táblázata szerinti legyen.

m13 Ha az m10 szerinti hosszabbított utókezelés bármely okból lehetetlen, akkor *vízzáróségi első vizsgálattal* kell kimutatni, hogy az e cementtel készített beton megfelel a követelményeknek.

m14 Az XV3(H) osztályban a mészkőlisztet tartalmazó CEM II portlandcementekre és a CEM III/A, CEM III/B kohósalakcementre vízzáróségi első vizsgálattal akkor is ki kell mutatani, hogy az e cementtel készített beton megfelel a követelményeknek, ha az m10 megjegyzés szerinti hosszabbított utókezelés megvalósul.

m15 Szervesen szennyezett víznek, szennyvíziszapkezelők vegyi támadásának is ellenáll. A szulfátállóság a kohósalaktartalom növekedtével egyértelműen javul.

m16 Az XA2 és az XA3 környezeti osztályban a korróziót savas környezet vagy lágyvíz okozza (oldódásos korrózió), akkor meghosszabbított beton-utókezelés kell minden, ebben az osztályban alkalmazható cement esetén. A meghosszabbított utókezelést az m9 megjegyzés szerint kell végezni.

m17 Ha a beton légbuborékképző adalékszer nélkül készül, akkor legalább C35/45 nyomószilárdsági osztályú legyen.

m18 XD környezeti osztályban megfelel.

m19 Ez a cement 42,5-ös szilárdsági változatban betonpályaburkolathoz is alkalmas lehet.

m20 Ha a cement mészkőliszt tartalma < 20 tömeg%, akkor kedvezőbb is lehet.

m21 V jelű pernyés cementtel készített fagyálló beton esetén a légbuborékképző adalékszer szükséges adagja az ajánlottól fölfelé eltérhet.

m22 Meleg időjárásban, ill. 20 cm-nél vastagabb rétegben nem alkalmazható.

m23 Franciaország az XA1 és XA2 szulfátos környezeti osztályban (az MS jelű mérsékelten szulfátálló és S jelű szulfátálló cementeken kívül) csak a CEM II/A-S és CEM II/A-V cementet engedi használni. CEM II/A-L és CEM II/B-L portlandcement használata az XA környezeti osztályban tilos.

Δ Megjegyzések a feltételekhez kötött esetekre

Δ1 Alkalmazása csak a kérdéses környezeti osztályra értelmezett fagyállóság előzetes igazolásával ajánlott.

Δ2 Csak 42,5 vagy 32,5 R szilárdsági osztályú és 50 tömeg%-nál nem több kohósalakot tartalmazó cement fajtára ajánlott.

Δ3 Csak szennyvízkezelő műtárgyak bizonyos részeihez, külön előírások alapján ajánlott.

Δ4 32,5 szilárdsági osztályú cement csak akkor alkalmazható, ha az előírt nyomószilárdsági osztályú betonon előzetesen végzett (első) vizsgálat Böhme kopási eredményei igazolják, hogy az előírt kopásállósági követelmény teljesült. CEM II/.. 42,5 jelű portlandcement és a CEM III/A kohósalakcement alkalmazása esetén is javasolt a kopásállósági vizsgálat, mert az ezekkel a cementekkel készült betonban a cementkő kevesebb C_3S (trikalcium-szilikát) összetevőt tartalmaz, mintha a beton CEM I 42,5 jelű portlandcementtel készült volna.

Δ5 Az XD2 és XD3 környezeti osztályban klorid migrációs gyors vizsgálattal (első vizsgálattal) ellenőrzendő, hogy a D_{nssm} migrációs együttható $5 \cdot 10^{-12}$ m^2/s alatt van-e. Megjegyezzük, hogy az NF EN 206-1 francia szabvány NA.F.1 táblázata ilyen környezeti esetekre csak 5 tömeg% mészkőliszt tartalmat enged meg.

Δ6 A francia T48 előírás a szulfátálló cementek közt sorolja föl a CEM V/A és CEM V/B kompozitcementet.

AJÁNLÁS A CEMENTEK KÖRNYEZETI OSZTÁLYOK SZERINTI ALKALMAZÁSÁRA, 1. RÉSZ [1] [2] [3] [4]

A táblázatot és mellékletét, amely nem hivatalos, hanem magán vélemény, a tisztelt Olvasó saját felelősségére alkalmazhatja.

A táblázat a magyarországi cementgyártók által jelenleg (2015. április) forgalmazott cementekkel foglalkozik.

× alkalmazása ajánlott

○ alkalmazása nem ajánlott

Oszlop száma				O1.	O2.	O3.	O4.	O5.	O6.	O7.	O8.	O9.	O10.	O11.	O12.	O13.	O14.
Sor száma	Cement fajta MSZ EN 197-1 MSZ 4737-1			Környezeti osztály, MSZ 4798													
				XN(H) X0b(H) X0v(H)	XC1 XC2	XC3	XC4	XD1 XS1 XD2 XS2 XD3 XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XF2(H)	XF3(H)	XF4(H)	XV1(H)	XV2(H) XV3(H)
				Megjegyzés a környezeti osztályra													
	CEM	m0 m1						m10		m11		m11	m11		m11	m12	m12 m13
1.	I 32,5 N-LH	Megjegyzés a cementre	m9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2.	I 42,5 N		m9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3.	I 42,5 N-SR 0		m2 m9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4.	I 42,5 R		m9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○
5.	I 52,5 N		m9	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
6.	I 52,5 N-SR 0		m2 m9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7.	I 52,5 R		m3 m9	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○
8.	II/A-S 42,5 N		m4 m9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
9.	II/A-S 42,5 R		m4 m9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○
10.	II/B-S 42,5 N		m4 m5 m9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
11.	II/A-LL 42,5 N		m6	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
12.	II/A-LL 42,5 R		m6	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○
13.	II/B-M (S-V) 42,5 N		m4 m9	×	×	×	×	×	×	× m14	× m14	× m14	×	×	×	×	×
14.	II/B-M (S-LL) 32,5 N		m6	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
15.	II/B-M (S-LL) 32,5 R		m6	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
16.	II/B-M (S-LL) 42,5 N		m6	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
17.	II/B-M (V-LL) 32,5 N		m6	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
18.	II/B-M (V-LL) 32,5 R		m6	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
19.	II/A-M (V-LL) 42,5 N		m6	×	×	×	×	○	×	× m14	× m14	× m14	×	×	×	×	×
20.	III/A 32,5 N-MSR		m7 m8 m9	×	×	×	×	×	×	×	×	○ m15	×	×	×	×	×
21.	III/A 32,5 R-MSR		m7 m8 m9	×	×	×	×	×	×	×	×	○ m15	×	×	×	×	○
22.	III/B 32,5 N-SR		m7 m9	×	×	×	×	×	×	○ m15	○ m15	○ m15	×	×	×	×	×

AJÁNLÁS A CEMENTEK KÖRNYEZETI OSZTÁLYOK SZERINTI ALKALMAZÁSÁRA, 2. RÉSZ [1] [2] [3] [4]

A táblázatot és mellékletét, amely nem hivatalos, hanem magán vélemény, a tisztelt Olvasó saját felelősségére alkalmazhatja.

A táblázat a magyarországi cementgyártók által jelenleg (2015. április) forgalmazott cementekkel foglalkozik.

× alkalmazása ajánlott
○ alkalmazása nem ajánlott

Oszlop száma			O15.	O16.	O17.	O18.	O19.	O20.	O21.	O22.	O23.	O24.	O25.	O26.	O27.	O28.
Sor száma	Cement fajta MSZ EN 197-1 MSZ 4737-1		Környezeti osztály, MSZ 4798													
			XA1		XA2		XA3		XA4(H)		XA5(H)		XA6(H)		XK1(H)	XK2(H) XK3(H) XK4(H)
			Duzzadás	Oldódás	Duzzadás	Oldódás	Duzzadás	Oldódás	Duzzadás	Oldódás	Duzzadás	Oldódás	Duzzadás	Oldódás		
			Megjegyzés a környezeti osztályra													
	CEM	m0 m1	m17 m18	m16 m17	m17 m19	m16 m17	m17 m20	m16 m17	m17	m16 m17	m17	m16 m17 m21	m17	m16 m17 m21	m22	m23
1.	I 32,5 N-LH	m9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	× m24	○
2.	I 42,5 N	m9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
3.	I 42,5 N-SR 0	m2 m9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
4.	I 42,5 R	m9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	× m25	× m25
5.	I 52,5 N	m9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	× m25	× m25
6.	I 52,5 N-SR 0	m2 m9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
7.	I 52,5 R	m3 m9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	× m25	× m25
8.	II/A-S 42,5 N	m4 m9	×	×	○	×	○	○	×	×	○	○	○	○	× m24	× m24
9.	II/A-S 42,5 R	m4 m9	×	×	○	×	○	○	×	×	○	○	○	○	× m24	× m24
10.	II/B-S 42,5 N	m4 m5 m9	×	×	○	×	○	○	×	×	○	○	○	○	× m24	× m24
11.	II/A-LL 42,5 N	m6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12.	II/A-LL 42,5 R	m6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
13.	II/B-M (S-V) 42,5 N	m4 m9	×	×	○	×	○	×	×	×	○	○	○	○	× m24	× m24
14.	II/B-M (S-LL) 32,5 N	m6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
15.	II/B-M (S-LL) 32,5 R	m6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
16.	II/B-M (S-LL) 42,5 N	m6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	× m24	○
17.	II/B-M (V-LL) 32,5 N	m6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
18.	II/B-M (V-LL) 32,5 R	m6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
19.	II/A-M (V-LL) 42,5 N	m6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	× m24	○
20.	III/A 32,5 N-MSR	m7 m8 m9	×	×	○	×	○	×	×	×	○	×	○	×	× m24	○
21.	III/A 32,5 R-MSR	m7 m8 m9	×	×	○	×	○	×	×	×	○	×	○	×	× m24	○
22.	III/B 32,5 N-SR	m7 m9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○

Megjegyzés a cementre

Megjegyzések a cementek alkalmazásának táblázatához

A táblázatban használt jelölések a következők:

✖	alkalmazása ajánlott
○	alkalmazása nem ajánlott
m0…m25	megjegyzések a környezeti osztályokra és a cementekre

m Megjegyzések a környezeti osztályokra és a cementekre

m0 Bármely a táblázatban nem ajánlott cement (jele a táblázatban: ○) alkalmazható, ha kísérletekkel igazolják, hogy az adott cement a szóban forgó környezeti osztályban megfelelően alkalmazható.

m1 A beton repedésérzékenységének csökkentése és a kellő szilárdulás érdekében bármelyik cement alkalmazása esetén előírhatják, hogy meghosszabbított vizes vagy nedves vagy párazárós utókezelés szükséges az alábbi táblázat szerint.

Utókezelés megkövetelt ideje az a beton szilárdulásának sebessége függvényében

A beton szilárdulásának sebessége	Gyors	Közepes	Lassú	Nagyon lassú
A beton 2 és 28 napos átlagos nyomószilárdságának viszonya (szilárdulási sebesség): $f_{cm,2}/f_{cm,28}$	$\geq 0,5$	$0,3 \leq$ $< 0,5$	$0,15 \leq$ $< 0,3$	$< 0,15$
Környezeti osztály	Utókezelés megkövetelt ideje			
XN(H), X0b(H), X0v(H)	12 óra	12 óra	24 óra	2 nap
XC1, XC2, XC3, XF1, XV1(H), XA1, XA4(H), XK1(H)	2 nap	3 nap	4 nap	7 nap
Összes többi környezeti osztály	3 nap	7 nap	10 nap	14 nap

Megjegyzés:

1. A táblázatban található megkövetelt utókezelési időket akkor kell alkalmazni, ha a napi közepes levegőhőmérséklet nagyobb, mint +12 °C. Azokat a napokat, amelyeken a napi közepes levegőhőmérséklet +5 °C és +12 °C közé esik, csak 0,7-es szorzóval szabad, azokat pedig, amelyeken a napi közepes levegőhőmérséklet 0 °C és +5 °C közé esik, csak 0,3-es szorzóval szabad számításba venni.
2. Nagyszilárdságú betonok (≥ C55/67) esetén az utókezelés ideje mindig 10 nap.

m2 Duzzadásos korrózióknak ellenálló betonok készítéséhez ajánlott kis alkáli tartalmú (NA) szulfátálló portlandcementek (CEM I 42,5 N-SR 0, CEM I 52,5 N-SR 0).

Oldódásos korrózió esetén a CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcementekhez metakaolin vagy szilikapor kiegészítőanyagot kell alkalmazni.

CEM I-SR szulfátálló portlandcementek esetén kohósalak, pernye vagy trasz kiegészítőanyag alkalmazása is kedvező, mert a betonnak mind a duzzadásos, mind az oldódásos korrózióval szembeni ellenállását fokozza.

CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcementek alkalmazása kémiai korrózió szempontjából veszélytelen környezeti osztályokban indokolatlan.

m3 Nedves eljárású lőttbeton készítéshez ajánlott portlandcement (CEM I 52,5 R). Kezdőszilárdsága gyors, vízmegtartó képessége kedvező. A CEM I 52,5 R portlandcement alkalmas előre gyártott termékek előállításához, valamint megfelelő téli óvintézkedések mellett betonozáshoz hideg időben, de nem alkalmas tömegbeton készítésére, és meleg időben csak különös óvatossággal alkalmazható.

m4 MSZ 4737-1 szerinti mérsékelten szulfátálló portlandcementek (CEM II/A-S 42,5 N, CEM II/A-S 42,5 R, CEM II/B-S 42,5 N, CEM II/B-M (S-V) 42,5 N-LH), amelyek alkalmazása duzzadásos korrózió esetén az XA1 és XA4(H) környezeti osztályban, oldódásos korrózió esetén az XA1, XA2, XA3 és XA4(H) környezeti osztályban javasolt. A kohósalak tartalmú cementek szulfátállósága a kohósalak-tartalom növekedésével egyértelműen javul.

Oldódásos korrózió esetén a mérsékelten szulfátálló CEM II/ portlandcementek metakaolin vagy szilikapor kiegészítőanyag alkalmazásával felhasználhatók

Ezeknek a cementeknek a bedolgozhatósági ideje hosszabb, és utószilárdulása jelentős.

A CEM II/A-S kohósalak-portlandcement nagyszilárdságú, normál kezdőszilárdságú változata (CEM II/A-S 52,5 N) jól alkalmazható transzportbeton készítéséhez és betonelemek előre gyártásához, valamint jelentős korai szilárdsága folytán a kizsaluzási idő lerövidítése céljából.

m5 Pályaburkolatok készítéséhez ajánlott kohósalakportlandcement (CEM II/B-S 42,5 N). Jól bedolgozható, kedvező kezdőszilárdságú, nagy hajlító-húzószilárdságú, megfelelő körülmények között repedésmentes betont eredményez [5].

m6 Duzzadásos korrózió esetén a mészkőliszt tartalmú cementek (CEM II/A-LL, CEM II/B-M (S-LL) és CEM II/B-M (V-LL)) alkalmazása taumazit képződés veszélye miatt óvatosságból nem javasolható, amely veszély a pernye-mészkőliszt kompozitcementek (CEM II/B-M (V-LL)) esetén fokozottan fennáll [6].

Oldódásos korrózió esetén a mészkőliszt tartalmú cementek (CEM II/A-LL, CEM II/B-M (S-LL) és CEM II/B-M (V-LL)) alkalmazása a mészkőliszt savérzékenysége és nagy fajlagos felülete miatt nem javasolható.

A CEM II/B-M (S-LL) 32,5 és CEM II/B-M (V-LL) 32,5 méskőliszt-kompozit-portlandcementek az XC1 és XC2 környezeti osztályban különösen alkalmasak tömegbetonok készítésére. Ezeknek a cementeknek a korai szilárdsága csekély és kizsaluzhatósági ideje hosszú.

A mészkőliszt-kompozit-portlandcementek több klinkert tartalmazó, nagyobb szilárdságú változata (CEM II/A-M (S-LL) 42,5 N) jól alkalmazható transzportbeton készítéséhez és betonelemek előre gyártásához. A CEM II/A-M(S-LL) 42,5 N kohósalak-mészkőliszt-kompozit-portlandcement kedvező vízigénye és vízmegtartó-képessége folytán jól szivattyúzható és jól bedolgozható, kezdőszilárdsága a CEM II/B-M kompozit-portlandcementekénél nagyobb. Ha a külső hőmérséklet kisebb, mint 10 °C, akkor a nagy kezdőszilárdságú CEM II/A-M (S-LL) 42,5 R fajtájú cement alkalmazandó.

m7 MSZ 4737-1 szerinti mérsékelten szulfátálló kohósalakcementek (CEM III/A 32,5 N-MSR, CEM III/A 32,5 R-MSR) és MSZ EN 197-1 szerinti kis hőfejlesztésű (LH) szulfátálló kohósalakcement (CEM III/B 32,5 N-SR), amelyeket kiegészítőanyag nélkül kell alkalmazni.

A mérsékelten szulfátálló kohósalakcementek (CEM III/A 32,5 N-MSR, CEM III/A 32,5 R-MSR) alkalmazása duzzadásos korrózió esetén az XA1 és XA4(H) környezeti osztályban, oldódásos korrózió esetén az XA1, XA2, XA3, XA4(H), XA5(H) és XA6(H) környezeti osztályban javasolt.

A szulfátálló kohósalakcement (CEM III/B 32,5 N-SR) valamennyi kémiai hatás környezeti osztályában alkalmazható.

Kísérletek igazolják, hogy a kohósalaktartalom növekedésével a hosszú távú szulfátállóság növekszik, és a kohósalakos cementek (CEM II is és CEM III is) szulfátállósága meghaladja valamennyi CEM I SR portlandcement szulfátállóságát.

A CEM III/A 32,5 N és CEM III/B 32,5 N kohósalakcement kis kezdőszilárdsága és kis hőfejlesztése folytán tömegbetonok készítésére is alkalmas.

Beton előre gyártás során a gyorsabb kezdeti szilárdulású CEM III/A-MSR mérsékelten szulfátálló kohósalakcement alkalmazása kedvezőbb, mint a lassabban szilárduló CEM III/B-SR szulfátálló kohósalakcement alkalmazása.

A mérsékelten szulfátálló kohósalakcementek (MSZ 4737-1) és MSZ EN 197-1 és a kohósalakcementek (MSZ 4737-1) előnyösen alkalmazhatók akkor is, ha a betont klorid hatása éri (XD1 – XD2, XS1 – XS2, XF2, XF2(H), XF4, XF4(H) környezeti osztály)

m8 A CEM III/A kohósalakcement CEM III/A 42,5 N változatban pályaburkolatok készítéséhez is alkalmas lehet.

m9 A tiszta portlandcementek (CEM I) kevésbé akadályozzák a kloridion behatolást (migrációt), mint a nem mészkőlisztes CEM II portlandcementek és a még azoknál is kedvezőbb CEM III kohósalakcementek (XD1 – XD2, XS1 – XS2, XF2, XF2(H), XF4, XF4(H) környezeti osztály).

m10 Betonacél korróziót csak a meg nem kötött, úgy nevezett „szabad klorid” okoz. A megkötött kloridionok mennyisége elsősorban a cement C_3A-tartalmának függvénye. Ezért a betonacél kloridkorróziója veszélyének csökkentése érdekében kohósalakban gazdag kohósalakcementet vagy pernyében gazdag portlandcementet kell alkalmazni. Kis C_3A-tartalmára tekintettel kerülni kell a szulfátálló portlandcementek (CEM I-SR) és a kishőfejlesztésű portlandcementek (hidratációs hőfejlesztésük 7 napos korig $\leq$ 270 J/g) felhasználását.

A szilikapor kiegészítőanyag adagolás tömörség fokozó hatásának köszönhetően megnehezíti a kloridion behatolást a portlandcementtel készített betonba. Ugyanakkor hátrány, hogy a szilikapor-tartalmú betonnak kisebb a kloridion megkötőképessége mint a szilikapor nélküli betoné, mert a szilikapor csökkenti a beton pH-át.

A kloridion behatolás a függőleges betonfelületen megnehezíthető, ha a friss betonfelületi réteg víztartalmát – a nem-nedvszívó zsaluzat alá helyezett nem-szövött textilbélés (vlies) segítségével – drénezéssel (kicsöpögtetéssel) csökkentjük, miáltal a betonkéreg tömörebb lesz, és így a beton lassabban is karbonátosodik. A karbonátosodás a kloridion megkötőképességet rontja. [7]

Az XD2, XD3, XS2 és XS3 környezeti osztályban a beton megengedett mészkőliszt-tartalma 5 tömeg% [8].

Az XD1 – XD3 és XS1 – XS3 környezeti osztályban a kiegészítőanyagok közül csak a pernye számítható be a cementtartalomba és a víz/cement tényezőbe. Pernye és például szilikapor kiegészítőanyag egyidejű adagolása esetén a pernyét sem szabad a cementtartalomba és a víz/cement tényezőbe beszámítani [2].

m11 Olvasztósóval érintkező fagy- és olvasztósóálló beton esetén lásd az m10 megjegyzést is.

m12 Ha az m-2 szerinti hosszabbított utókezelés az építéshelyen bármely okból lehetetlen, akkor vízzárósági vizsgálattal (MSZ EN 12390-8) kell kimutatni azt, hogy az adott cementtel készített, az építéshelyen alkalmazni kívánt ideig utókezelt próbatest megfelel a környezeti osztály szerinti vízzárósági követelménynek.

A szabvány szerint utókezelt (tárolt) próbatestek (MSZ EN 12390-2 szerint kizsaluzástól végig víz alatt tárolt vagy megegyezés esetén az MSZ 4798 szerint vegyesen tárolt próbatestek) vízzárósági vizsgálatát (MSZ EN 12390-8) attól függetlenül el kell végezni, hogy az építéshelyen a hosszabbított utókezelés megvalósul-e vagy sem.

m13 Az XV2(H) és XV3(H) környezeti osztályban a repedésérzékenység szempontjából a nagy kezdőszilárdságú cement (R) alkalmazása előnytelen.

m14 A pernye fő alkotórész szabad széntartalma a légbuborékképző adalékszer egy részét adszorbeálhatja, ezért a pernyés cementtel készített fagyálló beton esetén a légbuborékképző adalékszer szükséges adagja az általában ajánlottól fölfelé eltérhet [7].

m15 Növekvő kohósalaktartalom mellet csökken a légbuborékok hatékonysága, és fagyhatás esetén a légbuborékos beton fagyasztási vesztesége egyre jobban megközelítheti a légbuborékképző adalékszer nélkül készült beton hámlási veszteségét [9].

Ezért az XF4 környezeti osztályban csak olyan CEM III/A 42,5 N vagy CEM III/A 32,5 R típusú kohósalakcement alkalmazható, amelyikben a kohósalak fő alkotórész mennyisége kevesebb mint 50 tömeg% [2].

Az XF4 környezeti osztályban CEM III/B kohósalakcementet két esetben szabad alkalmazni: ülepítő medencék úszóiszap kotróhídjának futópályája esetén, ha a víz/cement tényező értéke legfeljebb 0,35, a beton nyomószilárdsági osztálya legalább C40/50 és a cementtartalom legalább 360 kg/m^3; vagy tengervízzel érintkező építmények fagy- és sóálló betonja esetén, ha a víz/cement tényező értéke legfeljebb 0,45, a beton nyomószilárdsági osztálya legalább C35/45 és a cementtartalom legalább 340 kg/m^3. Ezekben az esetben az XF4 környezeti osztályban légbuborék képzés nem szükséges [2].

m16 Oldódásos korrózió esetén a CEM II/A-S MSR, CEM II/B-S MSR és CEM II/B-M (S-V) 42,5 N (MSZ 4737-1) mérsékelten szulfátálló portlandcementhez metakaolin vagy szilikapor kiegészítőanyagot kell alkalmazni. Az oldódásos betonkorrózió ellenszereként annyiban vált be pernye kiegészítőanyag alkalmazása, hogy általa a beton szövetszerkezete tömörebb lesz.

Csak oldódásos korróziót okozó (savas) környezet esetében a beton károsodásának mérséklésére bármilyen CEM I portlandcementnél lényegesen alkalmasabbak a növekvő kohósalaktartalmú CEM II és CEM III típusú cementek, továbbá a pernyét és kohósalakot is tartalmazó CEM II-M (S-V) kompozitcementek.

m17 Ha a beton egyidejűleg duzzadásos és oldódásos környezetben van (például hidrogénkarbonátos-szulfátos talajvíz vagy kénsav esetén), akkor is a kohósalaktartalmú CEM II és CEM III típusú cementek alkalmazása a legelőnyösebb, CEM II portlandcement esetén metakaolin vagy szilikapor kiegészítőanyaggal javítva.

Ha mégis a gyorsabban szilárduló szulfátálló CEM I SR portlandcementre van szükség, akkor az oldódásos korrózióra tekintettel a szulfátálló portlandcement mellé kétféle kiegészítőanyagot ajánlott adagolni, például metakaolinnal vagy szilikaporral együtt pernyét, vagy kétféle eltérő finomságú pernyét. Ez a szabvány a kétféle II. típusú kiegészítőanyagot is tartalmazó kötőanyag keverési arányára nem ad előírást, de ilyen az irodalomban [2], [3], [4] található.

m18 Az XA1 környezeti osztályban a betonkeverékben szabad szulfátálló cement helyett CEM II/A-V, vagy CEM II/B-V fajtájú pernyeportlandcementet, vagy más nem szulfátálló portlandcement és pernye kiegészítőanyag (70-89):(25-6) tömeg% arányú keverékét alkalmazni, de az alkalmazott portlandcement a taumazit-képződés veszélye miatt mészkőlisztet nem tartalmazhat.

m19 Az XA2 környezeti osztályban, ha a talajvíz szulfáttartalma $SO_4^{2-} \leq 1500$ mg/l, akkor a betonkeverékben szabad szulfátálló cement helyett CEM II/A-V, vagy CEM II/B-V fajtájú pernyeportlandcementet, vagy más nem szulfátálló portlandcement és pernye kiegészítőanyag (60-89):(35-6) tömeg% arányú keverékét alkalmazni, de az alkalmazott portlandcement a taumazit-képződés veszélye miatt mészkőlisztet nem tartalmazhat [6].

m20 Az XA3 környezeti osztályban, ha a talajvíz szulfáttartalma $SO_4^{2-} \leq 1500$ mg/l, akkor a betonkeverékben szabad szulfátálló cement helyett CEM II/B-V fajtájú pernyeportlandcementet, vagy más nem szulfátálló portlandcement és pernye kiegészítőanyag (60-74):(35-21) tömeg% arányú keverékét alkalmazni, de az alkalmazott portlandcement a taumazit-képződés veszélye miatt mészkőlisztet nem tartalmazhat [6].

m21 Puzzolánt (például traszt) tartalmazó CEM II portlandcementet vagy CEM II M kompozitcementet Magyarországon a cementgyártók jelenleg nem forgalmaznak, de az irodalom [2] szerint a CEM II-P traszportlandcement, a traszos CEM II-M kompozit-portlandcement, a CEM IV traszcement és a traszos CEM V kompozitcement az XA5(H) és XA6(H) környezeti osztályú, az ipari és mezőgazdasági szennyvizekkel, erjesztett takarmánnyal, füstgázokkal érintkező beton készítésére alkalmas.

m22 Mészkő-portlandcementek (CEM II/A-LL) kopásálló betonhoz nem ajánlottak. Kivétel az XK1(H) környezeti osztály, amelyben mészkőlisztet tartalmazó portlandcement alkalmazható, de csak akkor, ha cement a mészkőliszt mellett másik fő alkotórészt is tartalmaz (kompozitcement) és szilárdsági osztálya legalább 42,5.

m23 Az XK2(H), XK3(H) és XK4(H) környezeti osztályban csak legalább 42,5 szilárdsági osztályú, mészkőlisztet nem tartalmazó cementek ajánlottak.

m24 CEM I 32,5 és a CEM II 42,5 jelű portlandcement, valamint a CEM III/A jelű kohósalakcement cementköve kevesebb C_3S (trikalcium-szilikát) összetevőt tartalmaz, mint a CEM I 42,5 jelű portlandcement cementköve, ezért az előbbiek alkalmazása a kopásállóság szempontjából kedvezőtlen lehet.

m25 Meleg időjárásban, illetve 20 cm-nél vastagabb rétegben nem alkalmazásra nem ajánlott tiszta portlandcementek.

IRODALOM

[1] Cementek felhasználhatósági köre az MSZ 4798-1:2004 környezeti osztályainak megfelelően. Kutatási jelentés. Regisztrációs szám: 37783-003-ÉA/2009. BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék (Tanszékvezető Dr. Balázs L. György egyetemi tanár). Budapest, 2010.

[2] E DIN 1045-2:2014-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206

[3] Vorschlag ÖNORM B 4710-1:2014 Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Teil 1: Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206 für Normal- und Schwerbeton

[4] SN EN 206-1/NE:2013 Beton. Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Nationale Elemente NE zur Norm SN EN 206-1:2000

[5] Richtlinie „Herstellung von Betonfahrbahndecken". Österreichischer Betonverein, Sektion Betonstrassen. Wien, 1986.

[6] *Stark, J. – Wicht, B.*: Dauerhaftigkeit von Beton. 2. Auflage. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 2013. p. 175.

[7] *Springenschmid, R.*: Betontechnologie für die Praxis. Bauwerk Verlag GmbH. Berlin, 2007.

[8] NF EN 206-1 Béton . Partie 1: Spécification, performances, production et conformité

[9] *Lohaus, L.*: Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken im Wasserbau", Krefelder Planertag am 31. Oktober 2007, Gütegemeinschaft Planung der Instandhaltung von Betonbauwerken e.V., Krefeld

SZEMELVÉNYEK

Springenschmid, R.: Betontechnologie für die Praxis. Bauwerk Verlag GmbH. Berlin, 2007. p.148.

Da Schäden infolge Thaumasitbildung in Deutschland erst vor wenigen Jahren zutage getreten sind, ist dieses Gebiet nur wenig erforscht, [Schießl 03/2]. Thaumasitschäden treten offensichtlich als Folge einer Schädigung durch einen Sulfatangriff auch bei niedrigen Sulfatkonzentrationen auf. Als Schutzmaßnahme ist daher ein dichtes Gefüge des Betons, d. h. ein niedriger *w/z*-Wert und die Verwendung von HS-Zementen nötig. Eine zusätzliche Schutzmaßnahme kann die Vermeidung von Gesteinskörnungen und Zementen mit Kalksteinmehl als sekundärer Hauptbestandteil (CEM II A-LL, CEM II A/B-M) sein. Nach neueren Untersuchungen, [Bellmann 06] sind Zemente, die wenig Calciumhydroxid bilden, also Hüttensand enthalten oder mit großen Anteilen an Flugasche erhärten, vorteilhaft.

DBV-Merkblatt: „Chemischer Angriff auf Betonbauwerke. Bewertung des Angriffsgrads und geeignete Schutzprinzipien", Berlin, 2014. p. 63.

Kalk- bzw. carbonathaltige Bestandteile des Betons werden bei einem lösenden Angriff angegriffen bzw. gelöst und können bei einem Sulfatangriff zu Thaumasitbildung führen. Unter solchen Bedingungen verbietet sich daher die Verwendung von Zementen mit karbonathaltigen Hauptbestandteilen, z. B. von CEM II/A-LL und CEM II/B-LL. Auch auf die Verwendung eines CEM I sollte nach Möglichkeit verzichtet werden.

Stark, J. – Wicht, B.: Dauerhaftigkeit von Beton. 2. Auflage. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 2013. p. 175-177.

Die Höhe der minimalen zu einem Schaden führenden Sulfationenkonzentration für eine Thaumasitbildung ist derzeit nicht bekannt, da die meisten Laboruntersuchungen unrealistisch hochkonzentrierte Sulfatlösungen verwenden und bei Schadensfällen die angreifende Sulfatkonzentration i. d. R. nicht exakt genug ermittelt werden kann. Experimentelle Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass auch bei geringen Sulfationenkonzentrationen (1500 mg/l) Thaumasit gebildet werden kann (Mulenga 2002). In Felduntersuchungen wurde ebenfalls bei geringen Sulfationenkonzentrationen (etwa 2000 mg/l) eine Schädigung durch Thaumasit nachgewiesen (Gouda et al. 1975). Das bedeutet, dass die nach gegenwärtig gültiger deutscher Norm als sulfatbeständig geltenden Bindemittel dies eigentlich nicht sind, da eine mögliche Thaumasitbildung bei Sulfatexposition nicht auszuschließen ist. Dazu zählen insbesondere Mischungen aus Portlandkalksteinzement mit Steinkohlenflugasche (CEM II/A-L + 20 % SFA), die bis zu einer Sulfationenkonzentration von 1500 mg SO_4^{2-}/l eingesetzt werden können.

Tatsächlich ist ein solches Bindemittel durch seinen hohen Kalksteingehalt sehr anfällig für eine Thaumasitbildung und eine Verwendung der Bindemittelkombination bei erhöhter Sulfationenkonzentration im angreifenden Medium kann zu schwerwiegenden Schäden führen. Im Gegensatz zur vorstehend genannten deutschen Regelung, die eine Verwendung von Portlandkalksteinzementen bis zu einer Sulfationenkonzentration von 1500 mg/l zulässt, beschränkt die britische Norm den Einsatz dieser Zemente auf aggressive Grundwässer mit maximal 400 mg SO_4^{2-}/l.

Es wird allgemein festgestellt, dass der bisher empfohlene geringe C_3A-Gehalt keine Gewähr für eine Vermeidung der Thaumasitbildung darstellt (Thaumasite Expert Group 1999; Nobst und Stark 2003a; Hempel 1993; Eden 2003; Bellmann 2005). Ein hoher C_3A-Gehalt kann möglicherweise sogar die Bildung von Thaumasit zurückdrängen, da die Reaktion des Sulfats zu Ettringit erleichtert wird (Juel et al. 2002). Da Thaumasit selbst kein Aluminium enthält, ist die Rolle des Aluminiums vermutlich auf eine Katalysatorfunktion beschränkt. Dies gilt sowohl aus chemischer Sicht als auch für die Schädigung des Mikrogefüges.

Die Verwendung von Hochofenzementen bietet Vorteile gegenüber normalen Portlandzementen, kann eine Schädigung jedoch nicht ausschließen. Laboruntersuchungen zeigten auch für Hochofenzemente ein hohes chemisches Potential für eine langfristige Schädigung (Nobst und Stark 2003b).

Die Zugabe von Steinkohlenflugasche zum Zement wird unterschiedlich bewertet. In der Praxis sollen Betone mit Steinkohlenflugasche gegenüber aschefreien Betonen überlegen sein. Allerdings weisen Laboruntersuchungen darauf hin, dass die Verwendung von Steinkohlenflugasche die Schädigung nicht verhindert, sondern lediglich verzögert

(Mulenga et al. 2002). Die vermutete Verbesserung der Dauerhaftigkeit des Betons durch die Zugabe von Steinkohlenflugasche kann auf die Verdichtung des Gefüges durch die puzzolanische Reaktion, den Portlanditverbrauch und die Ausbildung siliciumreicher C-S-H-Phasen zurückgeführt werden. Ein ähnliches Verhalten wie Steinkohlenflugasche wird Silicastaub zugeschrieben.

Zur Bildung von Thaumasit ist eine Carbonatquelle erforderlich. Das Carbonat kann durch die übliche Zugabe von Kalkstein zum Klinker als Nebenbestandteil (z. B. CEM l) oder als Hauptbestandteil (z. B. CEM II/A-L) im Zement enthalten sein. Weitere Carbonatquellen bestehen in der Verwendung von Kalksteinfüllern (Spritzbeton, selbstverdichtender Beton) und carbonathaltigen Gesteinskörnungen. Ebenso kann die partielle Umwandlung von Portlandit in Calciumcarbonat im Randbereich des Betons durch die Einwirkung von atmosphärischem Kohlendioxid eine Carbonatquelle darstellen. Im Gegensatz dazu kann eine vollständige Carbonatisierung (d. h. einschließlich der C-S-H-Phasen) einer Randzone auch einen Schutz gegen Sulfatangriff darstellen (Lea 1956). Die Gefahr der Thaumasitbildung ist bei allen Carbonatquellen gegeben. Das Carbonat kann nicht nur von Calciumcarbonat, sondern auch von anderen Mineralien wie Dolomit zur Verfügung gestellt werden. Die Form der Carbonatquelle beeinflusst möglicherweise auch den Schädigungsverlauf. Bei Schadensfällen durch Thaumasitbildung waren oft Betone mit dolomithaltigen Gesteinskörnungen betroffen (Mittermayr et al. 2009).

Die zementchemischen Einflüsse auf die Thaumasitbildung können dahingehend zusammengefasst werden, dass

- alle gegenwärtig verwendeten Zementtypen anfällig gegenüber einer Bildung des Minerals Thaumasit sind,
- die Verwendung von Hüttensand oder Steinkohlenflugasche nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand die Schädigung verzögert, jedoch die Gefahr der Thaumasitbildung nicht ausschließen kann,
- lediglich der Verzicht auf die Zugabe von Kalksteinmehl als Neben- oder Hauptbestandteil im Zement bzw. als Füller oder Gesteinskörnung im Beton die Thaumasitbildung auf die äußerste (carbonatisierte) Randzone beschränken kann,
- in der Praxis die Oxidation sulfidhaltiger Mineralien eine wichtige Ursache für die Betonschädigung durch Thaumasitbildung sein kann.

Kötőanyagok 2. Gyengén hidraulikus kötőanyagok: Hidraulikus mész, románcement (római cement, románmész), kőművescement, mészpuccolán

Németül:	Hidraulikus mész:	Hydraulischer Kalk
	Románcement:	Romanzement, römischer Zement, Romankalk, römischer Beton
	Kőművescement:	Putz- und Mauerbinder
	Mészpuccolán:	Trasskalk
Angolul:	Hidraulikus mész:	Hydraulic lime
	Románcement:	Natural cement
	Kőművescement:	Masonry cement
	Mészpuccolán:	Lime-trass mixes
Franciául:	Hidraulikus mész:	Chaux hydraulique
	Románcement:	Ciment romain
	Kőművescement:	Ciment de maçonnerie
	Mészpuccolán:	Trass-chaux

A *természetes eredetű* gyengén hidraulikus kötőanyagokat az emberiség a római korból ismeri. Általában falazó- és vakolóhabarcsok kötőanyagaként alkalmazhatók. A természetes eredetű gyengén hidraulikus kötőanyagok a mész ⁘ és a cement ⁘ között képeznek átmenetet. Levegőn és víz alatt is szilárdulnak. (Vannak mesterséges eredetű gyengén hidraulikus kötőanyagok is, például a kohósalak, a pernye, a szilikapor.)

Megjegyzés: A megnevezésekben nem mindig szerepeltetik a „gyengén” jelzőt.

Hidraulikus mész

A hidraulikus mész átmenetet képez az égetett mész ⁘ és a románcement között. A hidraulikus meszet 8-10 tömeg% agyagtartalmú márgás mészkőből vagy 10-20 tömeg% agyagtartalmú mészmárgából zsugorodási hőmérséklet alatt, kb. 900 °C hőmérsékleten égetik. Az égetés során vízmentes kalcium-szilikát és kalcium-aluminát vegyületek is keletkeznek, és ezek teszik a terméket gyengébb vagy erősebb mértékben hidraulikussá. A hidraulikus mész vízzel oltódik, az oltódás azonban lassú. Szilárdulásához a levegő szén-dioxidja is hozzájárul.

A mesterséges hidraulikus mész újkori feltalálása *Louis Vicat* (1786-1861) nevéhez fűződik, aki azt – az általa újra feltalált összetételű románcementtel együtt – először alkalmazta Dordogne folyó feletti “Pont Angoulęme” nevű híd felépítése (1812 – 1824) során (*1. ábra*).

1840-ig a hidraulikus mész volt a hazai építkezések egyik legfontosabb kötőanyaga. Hazai termék volt például a beocsini (egykori Szerém vármegye) természetes hidraulikus mész, import termék volt többek között a kufsteini, sagorei természetes hidraulikus mész, ill. oltott mészpor. Hazánk mai területén tudomásunk szerint hidraulikus mész előállítására alkalmas természetes nyersanyag nincs.

A természetes és mesterséges hidraulikus mész tulajdonságait az MSZ EN 459-1:2002 szabvány tárgyalja, amely az MSZ 108-1:1992 termékszabványt váltotta fel. Az MSZ EN 459-1:2002 szerinti gyengén hidraulikus kötőanyagok, ill. építési meszek vizsgálatát az MSZ EN 459-2:2002 szabvány szerint kell végezni. A mész-féleségtől függően a kötési időt ⁘, az alkotórészek mennyiségét ⁘, a friss habarcs levegőtartalmát és vízmegtartóképességét ⁘, süllyedésméréssel a konzisztenciát ⁘, a térfogat-állandóságot ⁘, a halmazsűrűséget ⁘, a szaporaságot ⁘, a reakcióképességet ⁘, a szabadvíz-tartalmat ⁘, az őrlésfinomságot ⁘, a tartósságot ⁘, a nyomószilárdságot ⁘ kell meghatározni. A nyomószilárdság vizsgálat néhány eltéréstől eltekintve lényegében azonos az MSZ EN 196-1:2005 szerinti

cementszilárdság vizsgálattal, amelyet 40·40·160 mm méretű habarcs próbahasábokon kell végrehajtani.

Az MSZ EN 459-1:2002 szabvány szerint az NHL 2 jelű természetes és a HL 2 jelű mesterséges hidraulikus mész 28 napos nyomószilárdsága az MSZ EN 459-2:2002 szabvány szerint vizsgálva 2 – 7 N/mm^2, az NHL 3,5 és HL 3,5 jelűé 3,5 – 10 N/mm^2, az NHL 5 és HL 5 jelűé 5 – 15 N/mm^2, az utóbbi 7 napos nyomószilárdsága legalább 2 N/mm^2. A hidraulikus meszek kötési idejének kezdete legalább 1 óra, vége legfeljebb 15 óra. Porrá oltott állapotban, vagy oltatlanul porrá őrölve hozzák forgalomba.

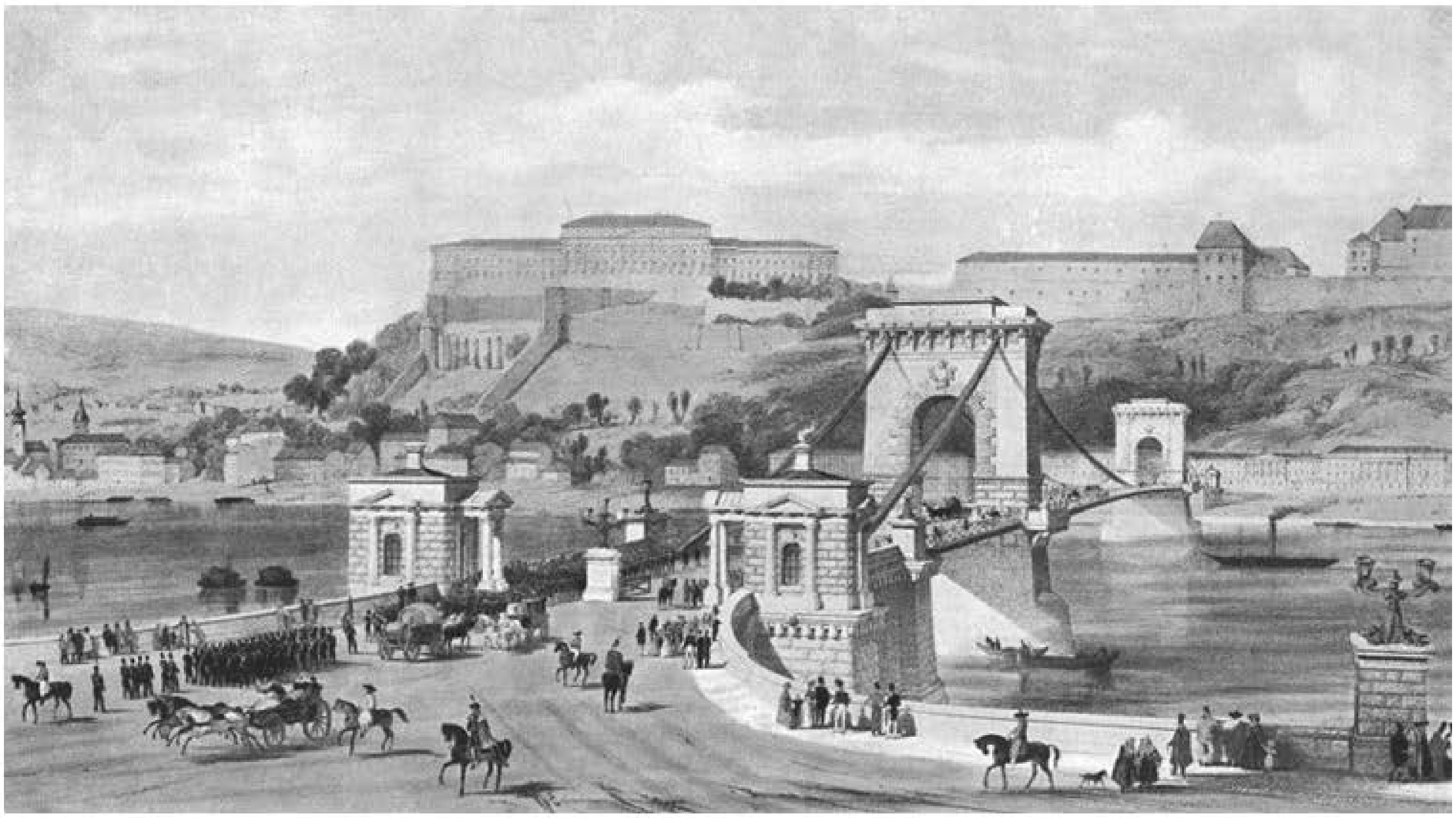
1. ábra: *Louis-Joseph Vicat* hídja a Dordogne folyó felett, Souillac határában, Franciaországban

Román cement (románmész)

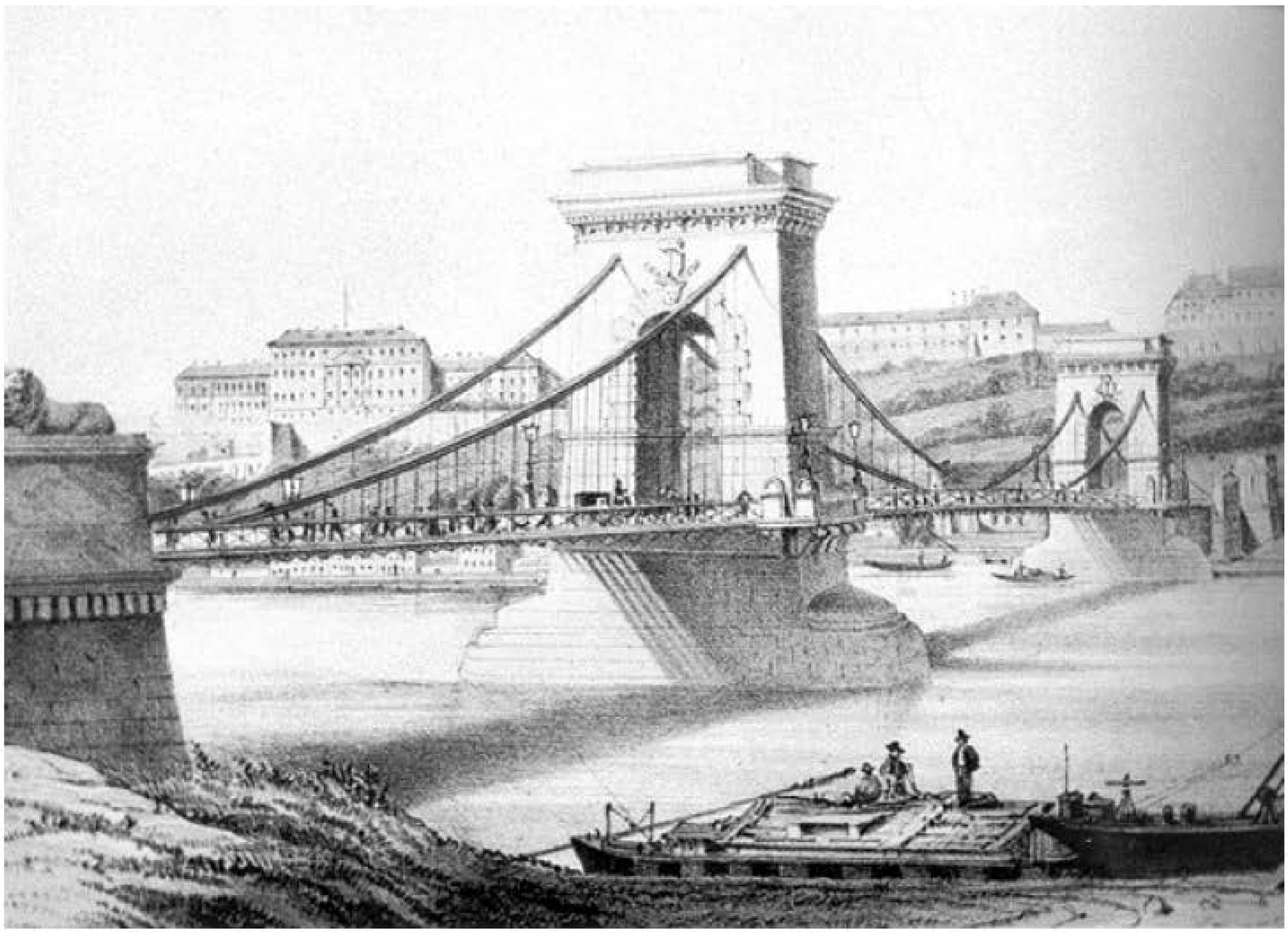
A román cementet 20 tömeg%-nál nagyobb agyagtartalmú márgából zsugorodást el nem érő hőmérsékleten (kb. 900 °C) égették. Porrá őrölve és vízzel keverve gyorsan köt és víz alatt is szilárdult. *Smeaton, J.* angol mérnök volt az első, aki 1756-ban tapasztalta, hogy az agyagot és homokot tartalmazó mészkövek égetés után vízben megkeményedő meszet adnak; de csak *Parkernek* sikerült 1796-ban ilyen meszet nagyobb mennyiségben gyártani, melyet római cementnek vagy román cementnek nevezett.

Hazánk gazdag a román cement gyártására alkalmas mészmárgában (Gerecse-hegységben Bersek, Budán a József-hegy és Újlak, a régi Magyarország területén Beocsin stb.). *William Tierney Clark* leírja, hogy az 1840-es években a Lánchíd alapjaihoz beocsini mészkőből periodikus lángtüzelésű aknakemencében égettek és golyósmalomban őröltek román cementet a Magyar Tudományos Akadémia mai épületének telkén, miután kísérletekkel meggyőződtek annak alkalmazhatóságáról (*2. – 3. ábra*). *Mihálik János* a Ferencz József zsilip (máshol Ferenc József-zsilip) építéséhez égette a helyszínen a román cementet kamenicai márgából (1854). A Lábatlani Cementgyárat 1869 évben román cement gyártásra alapították, és egészen 1900-ig ez volt az uralkodó termék, akárcsak az ugyancsak 1869-ben alapított beocsini román cement és hidraulikus mész gyárban (a Dunától 3 km-re, Újvidéktől 14 km-re),

amelyekben a századforduló idején a termelés felét még románcement, másik felét már portlandcement tette ki.



2. ábra: Széchenyi-Lánchíd (View of the Suspension bridge, now erecting over the River Danube at Pest in Hungary.) *G. Hawkins* színezett lithográfiája, 1839, méret: 268·480 mm.
A Lánchíd ezen a képen kapott először népszerűsítő és művészi bemutatást:
Előterében katonák masíroznak, lovashintók, lovas katonák, sétáló hölgyek és urak.
Hátterében a Rácz-város, a királyi palota, a katonai szertár és a Sándor palota.
A litográfia 1839-es bibliográfiai évszáma azért elgondolkoztató,
mert a Lánchidat 1848-ban adták át a forgalomnak



3. ábra: A Lánchíd 1852-ben. *Franz Josef Sandmann* litográfiája *Rudolf Alt* rajza nyomán.
A négy kőoroszlán *Marschalkó János* szobrászművész (1819-1877) alkotása (1852).

Kőművescement

A kőművescement összetételét, a követelményeket és megfelelőségi feltételeket az MSZ EN 413-1:2004 szabvány szabályozza. Fő összetevőinek egyike általában a hidraulikus mész. Az MSZ EN 413-1:2004 szabvány szerint az MC 5 jelű kőművescement portlandcementklinker tartalma legalább 25 tömeg%, az MC 12,5, MC 12,5 X és MC 22,5 X jelű kőművescementé legalább 40 tömeg%. Tulajdonságai az őrlésfinomság, a kötési idő, a térfogat-állandóság, a friss habarcs levegőtartalma és vízmegtartóképessége, a szulfát- és kloridion-tartalom, a tartósság, a vízoldható króm (VI) tartalom, a nyomószilárdság. A nyomószilárdság vizsgálat néhány kisebb eltéréstől eltekintve azonos az MSZ EN 196-1:2005 szerinti cementszilárdság vizsgálattal, amelyet 40·40·160 mm méretű habarcs próbahasábokkal kell elvégezni.

Az MSZ EN 413-1:2004 szabvány szerint az MC 5 jelű kőművescement 28 napos nyomószilárdsága az MSZ EN 413-2:2005 szabvány szerint vizsgálva 5 – 15 N/mm^2, az MC 12,5 és MC 12,5 X jelűé 12,5 – 32,5 N/mm^2, az MC 22,5 X jelűé 22,5 – 42,5 N/mm^2. Az MC 12,5 és MC 12,5 X jelű kőművescement 7 napos nyomószilárdsága legalább 7 N/mm^2, az MC 22,5 X jelűé 10 N/mm^2. A kőművescement kötési idejének kezdete legalább 1 óra. Ha a kötési idő kezdete kevesebb mint 6 óra, akkor a kötési idő vége nincs előírva; ha a kötési idő kezdete több mint 6 óra, akkor a vége legfeljebb 15 óra.

A kőművescement vízzel és homokkal (adalékszer nélkül) összekeverve falazó- és vakolóhabarcsot ad.

Mészpuccolán

Mészpuccolán porrá oltott fehérmész vagy őrölt égetett mész és természetes savanyú hidraulikus kiegészítőanyag (riolittufa, trasz, kovaföld, habkő, stb.) ❖ keveréke. Kalciumoxid-tartalma 20 – 40 tömeg%, trasztartalma 30 – 60 tömeg%. A mészpuccolánt vagy az alapanyagok együttes őrlésével, vagy külön őrléssel és utólagos keveréssel állították elő. Cementvizsgálati módszerrel meghatározva, a ma már érvénytelen MSZ 4716:1954 termékszabvány szerint a nyomószilárdsága legalább 10 – 15 N/mm^2. Magyarországon az 1950-es években hat éven át gyártották.

Felhasznált irodalom

MSZ 108-1:1992	Mész és mésztermékek. Általános előírások
MSZ 4716:1954	Mészpuccolán. Hidraulikus kiegészítőanyag
MSZ EN 196-1:2005	Cementvizsgálati módszerek. 1. rész: A szilárdság meghatározása
MSZ EN 413-1:2004	Kőművescement. 1. rész: Összetétel, követelmények és megfelelőségi feltételek
MSZ EN 413-2:2005	Kőművescement. 2. rész: Vizsgálati módszerek
MSZ EN 459-1:2002	Építési mész. 1. rész: Fogalommeghatározások, követelmények és megfelelőségi feltételek
MSZ EN 459-2:2002	Építési mész. 2. rész: Vizsgálati módszerek
Bereczky Endre – Reichard Ernő:	A magyar cementipar története. SZIKKTI – CEMŰ – Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1970.
Pallas Nagy lexikona	Pallas Irodalmi és Nyomdai Részvénytársaság. Budapest, 1897
Riesz Lajos:	Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1989.
Gróf Széchenyi István minden írása	Logod Bt. 2001., CD

http://www.souillac.net/deutsch/index.html

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a

BETON
szakmai havilap

2007. október havi számának 10-11. oldalán

	Kötőanyagok IV. Hidraulikus kötőanyagok: Cement 2. **Klinkerásványok**	

Németül:	Hydraulischese Bindemittel: Zement, Klinker
Angolul:	Hydraulic binding materials: Cement, clinker
Franciául:	Liants hydraulique: Ciment, clinker

Klinker oxidos összetételének modulusai

A klinker összetételének túlnyomó többségét négy oxid teszi ki: CaO (röviden: C), SiO_2 (röviden: S), Al_2O_3 (röviden: A), Fe_2O_3 (röviden: F), kisebb jelentőségű a Na_2O, K_2O, MgO, SO_3. A klinker tulajdonságait az oxidok aránya szabja meg, amelyet modulusokkal szokás kifejezni. Követelmény, hogy a modulusok értéke adott határok között legyen. Portlandcementklinker esetén három modulus használatos, amelyekben a c·(X) jelölés az X oxid tömegszázalékban kifejezett mennyiségét jelenti:

Szilikátmodulus: SM = c·S/(c·A + c·F), határértékei: 1,8 < SM < 2,8

Aluminátmodulus: AM = c·A/c·F, határértékei: 0,5 < AM < 2,5

Mésztelítettség,

ha az AM > 0,64,

akkor TT = (c·C - c·(szabad CaO) – 1,65·c·A – 0,35·c·F – 0,7· c·(SO_3))/2,8 c·S

ha az AM < 0,64,

akkor TT = (c·C - c·(szabad CaO) – 1,1·c·A – 0,7·c·F – 0,7· c·(SO_3))/2,8 c·S

A mésztelítettség határértékei: 0,85 < TT < 0,95

A szilikátmodulus növekedésével a cementszilárdság nő. Az aluminátmodulus növekedésével a cement stabilabb lesz, de szulfátállósága csökken. A szulfátálló cementek AM értéke mintegy 0,64, a mérsékelten szulfátálló cementeké mintegy 1,0. Minél nagyobb a mésztelítettség, annál több a trikalcium-szilikát mennyisége, és kevesebb a dikalcium-szilikát mennyisége a klinkerben. Ha TT = 1, akkor szabad CaO és dikalcium-szilikát nincs jelen, a szilikátokban lekötött CaO teljes egészében trikalcium-szilikátot alkot. Ha TT > 1, akkor a klinker szabad CaO-t tartalmaz. A szabad CaO vízzel csak nagyon lassan, a cement megszilárdulása után reagál, miközben térfogata növekszik, duzzad, és ezért repedéseket okoz.

Az aluminátklinker tulajdonságaira a c·C/c·A aránynak van hatása. A mésztartalom növelése a kezdeti szilárdságot, az alumíniumoxid-tartalom növelése a tűzállóságot növeli.

A klinker kis fajlagos felületű ❖ félkész termék, amely fedett tárolótérben a cementnél sokkal hosszabb ideig károsodás nélkül eláll, ezért folyamatos gyártással téli időszakban tartalékok képezhetők belőle. Cementgyártásra a pihentetett, lehűlt klinker alkalmas.

Portlandcement-klinkerásványok

Mai értelemben a portlandcement a szilikátcementek azon fajtája, amelyek portlandcementklinker-tartalma adott határértéket elér. Ez a határérték az MSZ EN 197-1:2000 szabvány szerint általában 65 tömeg% (CEM I és CEM II jelű cementfajták). A portlandcementklinker (*1. ábra*) elsősorban kalcium-szilikátokból épül fel, és zsugorodási hőmérsékleten (1400 – 1500 °C) égetett féltermék. A portlandcement típusú cementek a

zsugorított vagy olvasztott hidraulikus kötőanyagok csoportjába tartoznak, szemben a gyengén hidraulikus kötőanyagokkal ❖, amelyek alapanyagát zsugorodási hőmérséklet (1100 – 1200 °C) alatt égetik.

A portlandcement tulajdonságainak legfőbb hordozói a portlandcement-klinkerásványok, amelyek közül a legfontosabbak a következők:

Alit, trikalcium-szilikát ($3CaO \cdot SiO_2$, röviden: C3S). A cement 37-60 tömeg%-át teszi ki. A nagy kezdőszilárdságot adja.

Belit, a dikalcium-szilikát négyféle módosulata közül a legfontosabb, a β-módosulat (β-$2CaO \cdot SiO_2$, röviden: β-C2S). Mennyisége a cementben 15-37 tömeg%. Kezdeti szilárdulása lassú, utószilárdulása nagy, hőfejlesztése kicsi.

Felit, trikalcium-aluminát ($3CaO \cdot Al_2O_3$, röviden: C3A). Mennyisége a cementben: 7-15 tömeg%. Kezdeti szilárdulása gyors, hőfejlesztése nagy, zsugorodásra hajlamos. Ha hiányzik vagy kicsi a mennyisége a cementben, akkor a cement szulfátálló (*2. ábra*). Ellenkező esetben a cement kevésbé szulfátálló, mint a portlandcementek általában.

Celit, tetrakalcium-aluminát-ferrit ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$, röviden: C4AF). Mennyisége a cementben 10-18 tömeg%. Szilárdsága igen kicsi, lassan köt. Ennek a klinkerásványnak a mennyiségét növelve a cement szulfátállósága javul.

A négy portlandcement-klinkerásvány együttesen a tiszta portlandcement 90-98 tömeg%-át teszi ki. A maradék 2-10 tömeg% szabad magnéziumoxidból, kalciumszulfátból (gipszből) és kalciumoxidból áll.

1. ábra: Normál portlandcementklinker

2. ábra: Szulfátálló portlandcementklinker

Aluminátcement-klinkerásványok

Az aluminátcement (angolul: aluminous cement) nyersanyaga mészkő és alumíniumtartalmú kőzet, általában bauxit vagy timföld (többnyire bauxitból állítják elő), és eszerint beszélünk építési célú bauxitcementről, amely a bauxitbeton ❖, és timföldcementről (tűzállócementről), amely a tűzállóbeton kötőanyaga. Az ömlesztett aluminátcementeket, mint pl. a francia Lafarge-cementet (ciment fondu, ciment electrique) vagy a német Tonerde-Schmelzzement-et olvadási hőfokon égették. Hazánkban a bauxitcementet az 1920-as évek végén zsugorítást el nem érő hőfokon (töpörödési hőfok, 1000 – 1100 °C) égették, majd később áttértek a zsugorodási hőmérsékleten (kb. 1250 °C) való égetésre. A zsugorításhoz felhasznált hőenergia-szükséglet az olvasztáshoz szükséges értéknek fele-harmada. Az égetés terméke az aluminátcementklinker, amely alumínium-oxidban (Al_2O_3) dús vegyületekből áll.

Az aluminátcement legfontosabb klinkerásványai a kalciumaluminátok.

Az 1600 °C hőmérsékleten olvadó $CaO \cdot Al_2O_3$ (CA) klinkerásvány az aluminátcementek nagy kezdőszilárdságát biztosítja.

A $CaO \cdot 2Al_20_3$ (CA_2) 1720 °C hőmérsékleten olvad, szilárdulása lassúbb.

Az 1590 °C-on olvadó $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (C_2AS), amelynek ásványtani neve gehlenit, kisebb-nagyobb mennyiségben mindig található a klinkerben, jelenléte a szilárdulási folyamatra nem előnyös.

A $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (C_4AF, brownmillerit) 1410 °C körül olvad.

A $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ ($C_{12}A_7$), egyes szerzők szerint $5CaO \cdot 3Al_2O_3$ (C_5A_3), valamint a $3CaO \cdot 5Al_2O_3$ (C_3A_5) összetételű mészaluminátok is hordozói a szilárdulási képességnek. Az esetleges gyorskötés oka tökéletlen feltáródás következtében és a bauxitcementklinker helytelen hőkezelése esetén előálló $3CaO \cdot 5Al_2O_3$ (C_3A).

A bauxitcement Al_2O_3 tartalma legalább 35 tömegszázalék volt, a tűzállócementé (*3. ábra*) legalább 60 tömegszázalék.

3. ábra: Tűzálló aluminátcement-klinker

Felhasznált irodalom

MSZ EN 197-1:2000 — Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei. Módosították MSZ EN 197-1:2000/A1:2004 szám alatt

Bereczky Endre – Reichard Ernő: A magyar cementipar története. SZIKKTI – CEMŰ – Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1970.

Dolezsai Károly – Pauka Imre: Cementgyártás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1964.

Riesz Lajos: Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1989.

Palotás László: Fa – kő – fém – kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana 2. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Talabér József (szerk.): Cementipari Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1966.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2008. január havi számának 12-13. oldalán

Kötőanyagpépek kötési idejének vizsgálata

MSZ EN 196-3:1990 Cementvizsgálati módszerek. 3. rész: A kötési idő és a térfogatállandóság meghatározása 6. fejezet: A kötési idő meghatározása	MSZ 57:1977 Gipsz kötőanyagok 3.4.4.-3.4.6. fejezetek: A kötési idő meghatározása
Vizsgálóeszközök	
E szabvány szerinti **Vicat-féle tűs készüléknek** a szabványos folyósság vizsgálatához használt merülőrudját a *kötés kezdetének* meghatározására egy (50±1) mm hasznos hosszúságú, (1,13±0,05) mm átmérőjű henger alakú **acéltűre** kell kicserélni. (Az acéltű keresztmetszeti területe 1,0 mm^2.) A *kötés végének* meghatározására szolgáló, az előzővel azonos méretű tűt *gyűrű alakú feltéttel* kell ellátni. A mozgó részek össztömege mindig (300±1) g, ami tömeg-kiegyenlítő feltét alkalmazásával biztosítható. A mozgó részek függőleges irányban érdemleges súrlódás nélkül elmozdulhatnak. Tengelyük egybe esik a tű tengelyével. A **Vicat-gyűrű** azonos a szabványos folyósság vizsgálatához használt Vicat-gyűrűvel. A Vicat-készüléket a hozzá tartozó tűkkel a vizsgálat előtt **be kell állítani**; ehhez a tűket le kell engedni az alájuk helyezett üveglapig, és a mutatót a skála nullpontjára kell állítani. **Automatikus működésű Vicat készülék** a kötési idő meghatározásához akkor használható, ha a kézi vizsgálóeszközzel és	Az MSZ EN 196-3:1990 cement vizsgálati szabvány szerinti **Vicat-féle tűs készülék**, a hozzá tartozó **acéltűvel** és **Vicat-gyűrűvel**. A Vicat-készüléket a hozzá tartozó tűvel a vizsgálat előtt **be kell állítani**; ehhez a tűt le kell engedni az aláhelyezett polírozott alátétlapig, és a mutatót a skála nullpontjára kell állítani.

eljárással azonos eredményt ad.	
Mérőhenger vagy **büretta**, a mért térfogatra vonatkoztatott 1 % pontossággal.	**Vonalzó**
Legalább 2,5 mm vastag és a gyűrű átmérőjénél nagyobb méretű **üveglap**	Legalább 100*100 mm méretű, korrózióálló, **polírozott alátétlap**
Keverőgép, az EN 196-1:1987 szabvány 4.4. fejezete szerint. Kézi keverést csak akkor szabad alkalmazni, ha az bizonyíthatóan a gépi keveréssel megegyező vizsgálati eredményre vezet.	Háromnál több huzalhurokkal rendelkező **kézikeverő**
Mérleg, 1 g mérési pontossággal.	**Mérleg**, 1 g mérési pontossággal.
Vizsgálati minta	
A vizsgálati minta mérésenként 500 g tömegű **cement**, (amelyet 1 g pontossággal kell lemérni,) és a szabványos folyósságú cementpépet eredményező **víz** keveréke. A próbatestek előállítására desztillált vagy ionmentesített, illetve ezekkel azonos hatású **vizet** kell használni.	A vizsgálati minta 300-350 g tömegű **gipsz** és a szabványos folyósságú gipszpépet eredményező **víz** keveréke.
Vizsgálati eljárás	
A cementpép elkészítése A cementpép összetétele a *szabványos folyósságú cementpép* összetételével azonos. A szabványos folyósságú cementpépet a szabványos folyósság vizsgálatánál leírt módon kell megkeverni. A kötési idő méréséhez a cementhozzáadás befejezésének időpontját kell nulla-időpontnak tekinteni. **A gyűrű megtöltése és tárolása** Az üveglapra helyezett Vicat-gyűrűt a megkevert szabványos folyósságú cementpéppel ugyan olyan módon kell	**A gipszpép elkészítése** A *szabványos folyósságú gipszpépet* a szabványos folyósság meghatározásához alkalmazott gipszpép elkészítésével azonos módon kell elkészíteni. **A gyűrű megtöltése** Az előzetesen letörölt és ásványolajjal bekent kúpos gyűrűt a polírozott lapra kell helyezni, majd szabványos folyósságú gipszpéppel meg kell tölteni. A pépben maradt levegő eltávolítására a kúpos gyűrű alatt lévő

megtölteni, mint a szabványos folyósság vizsgálatánál kellett.

Az üveglapra helyezett és megtöltött Vicat-gyűrűt ezt követően, a behatolási vizsgálat kezdetéig (20±1) °C hőmérsékletű és legalább 90% relatív légnedvesség-tartalmú helyiségben vagy nedves kamrában kell tárolni.

Behatolási vizsgálat

A kötés kezdetének meghatározása

A megtöltött Vicat-gyűrűt az üveglappal együtt bizonyos idő elteltével a Vicat-készülék tűje alá kell helyezni. Ezt követően a tűt addig kell óvatosan leereszteni, míg a cementpép felületével érintkezésbe kerül. A tűnek ebben a helyzetben kell 1-2 másodpercig maradnia a besüllyedésnél fellépő gyorsulásának vagy a mozgó alkatrészek jelentősebb gyorsulásának elkerülésére. Ezután a mozgó részeket hirtelen el kell engedni úgy, hogy a tű függőlegesen a cementpépbe süllyedhessen.

A *besüllyedési mélységet* (a tű alsó vége és az üveglap közötti távolság) akkor kell a skálán leolvasni, amikor a tű már nem süllyed tovább a cementpépben, legkésőbb azonban 30 másodperc eltettével.

A tűt minden mérés után azonnal meg kell tisztítani.

A kötés végének meghatározása

A megtöltött, a kötés kezdetének meghatározására használt *Vicat-gyűrűt az üveglapon meg kell fordítani* úgy, hogy a kötés végét meghatározó mérést az eredetileg az üveglappal érintkező oldalán lehessen elvégezni. A kötés kezdetének

alátétlap egyik oldalát 4-5-ször körülbelül 10 mm magasra kell emelni, majd visszaejteni. Ez után a pép fölösleget vonalzóval le kell húzni és a megtöltött gyűrűt az alátétlappal együtt a Vicat-készülék alaplapjára kell helyezni.

Behatolási vizsgálat

A vizsgálathoz a készülék tűvel ellátott mozgatható fémrúdját úgy kell beállítani, hogy a tű vége érintkezzék a gipszpép felületével.

Ezután, kerek perc kezdetekor, a tűt elengedve, azt bele kell ereszteni a gyűrűben lévő gipszpépbe.

A *besüllyedési mélységet* (a tű alsó vége és a polírozott alátétlap közötti távolság) a skálán le kell olvasni.

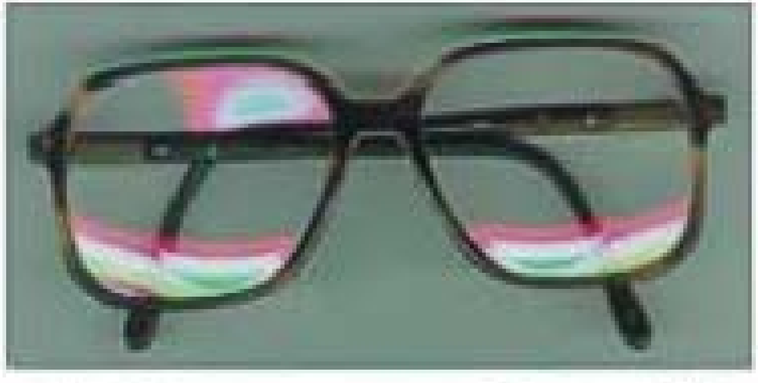
A tűt minden mérés után azonnal meg kell tisztítani.

méréséhez használt tűt a leolvasási pontosság fokozása érdekében gyűrű alakú feltéttel kell ellátni. A behatolás mérést ugyanúgy kell végezni, mint a kötés kezdetének meghatározásához kellett.	
Vizsgálati eredmény	
A vizsgálati eredmény a tű behatolási mélysége (a tű végének távolsága az üveglap felett), valamint az az időtartam, amely a keverőbe történt cementadagolás befejezése (nulla-idő) óta a behatolás méréséig eltelt.	A vizsgálati eredmény a tű behatolási mélysége (a tű végének távolsága a polírozott alátétlap felett), valamint az az időtartam, amely a gipsz vízbe való betöltésének kezdete (nulla-idő) óta a behatolás méréséig eltelt.
Ismétlések száma	
A behatolás mérését ugyanazon a cementpépmintán, megfelelően megválasztott időközökben, a *kötés kezdetének* meghatározása során például 5 vagy 10 percenként, legalább 10 mm távolságban a gyűrő szélétől és a korábbi beszúrási helyektől, kell megismételni. A *kötés végének* meghatározásakor az egyes, ismételt behatolási mérések közötti időtartamokat például 30 percre meg lehet hosszabbítani. Az egyes behatolási mérések között a megtöltött Vicat-gyűrűket az előírtaknak megfelelő vizsgáló helyiségben vagy nedves kamrában kell tárolni. A vizsgálat szükséges pontosságának elérése érdekében az egyes behatolási mérések időközeit a cementpép kötéskezdetének és kötésvégének közelében le kell rövidíteni.	A tű beeresztését 30 másodpercenként meg kell ismételni. A tűt minden beeresztés után gondosan le kell törölni, majd az alátétlapot a formával együtt úgy kell elmozdítani, hogy az újabb vizsgálat a pépfelület másik részén történjék.
Mértékadó vizsgálati eredmény	
A **cementkötés (kötési idő)** ***kezdete*** az az 5 perc pontossággal megadott időtartam, amely a cement keverőbe töltésének befejezésétől (nulla idő) addig az	A **gipsz kötési idejének** ***kezdete*** az az időtartam, amely a gipsz vízbe való öntésének kezdetétől addig tart, ameddig a beeresztett tű első ízben

időpontig telik el, amikor a tű és az üveglap közötti távolság **4±1 mm** és az egymást követő mérési eredmények már nem térnek el egymástól jelentős mértékben. A **cementkötés (kötési idő)** ***vége*** az a 15 perc pontossággal megadott időtartam, amely a cement keverőbe töltésének befejezésétől (nulla-idő) addig az időpontig telik el, amikor a gyűrű alakú feltéttel ellátott tű már csak legfeljebb **0,5 mm**-re süllyed be a megszilárdult cementpépbe. (A tű és az üveglap közötti távolság legalább 39,5 mm.) A kötés végének időpontját akkor értük el, amikor a tű gyűrű alakú feltétje a próbatest felületén már nem hagy nyomot.	**nem süllyed le** az alátétlapig. A **gipsz kötési idejének** ***vége*** a gipsz vízbe való öntésének kezdetétől számított azon időtartam, amikor a tű legfeljebb **1 mm** mélységig hatol be a megszilárdult gipszpépbe. A kötés kezdetét és végét percekben kell megadni.

Követelmény a termékekre	
Cement, MSZ EN 197-1:2000	**Gipsz kötőanyagok, MSZ 57:1977**
A kötési idő kezdete • 32,5 szilárdsági osztály esetén legalább 75 perc; • 42,5 szilárdsági osztály esetén legalább 60 perc; • 52,5 szilárdsági osztály esetén legalább 45 perc. A kötési idő vége nincs szabályozva. 1997-ig volt érvényben az MSZ 4702-2:1981 szabvány, amely szerint a 42,5 R és 52,5 osztálynak megfelelő portlandcementek kötéskezdetének 45 percen túl, kötésvégének 8 órán belül, az egyéb portlandcementek kötéskezdetének 1 órán túl, kötésvégének 10 órán belül kellett lennie. Az MSZ 4702-4:1982 szerinti szulfátálló portlandcementek esetén a követelmény a kötés kezdetére legalább 1 óra, a kötés végére legfeljebb 12 óra volt.	A kötési idő kezdete • A jelű, gyorsan kötő gipsz esetén legalább 2 perc; • B jelű, közepesen kötő gipsz esetén legalább 6 perc; • C jelű, lassan kötő gipsz esetén legalább 20 perc. A kötési idő vége • A jelű, gyorsan kötő gipsz esetén legkésőbb 15 perc; • B jelű, közepesen kötő gipsz esetén legkésőbb 30 perc; • C jelű, lassan kötő gipsz esetén nincs szabályozva.

Nézze meg



az ember

Nézze meg

az ember

Őrlési finomság

Németül:	**Mahlfeinheit**
Angolul:	**Grinding fineness**
Franciául:	**Finesse de broyage**

Szitaberendezés az őrlési finomság meghatározásához.
A Schulek Frigyes Kéttannyelvű Építőipari Műszaki Szakközépiskola laboratóriumának mérőeszköze

Az őrlési finomság a por (esetleg dara) alakú, szervetlen, szilárd halmazállapotú, kémiai folyamatok hatására szilárduló kötőanyagok (cement, gipsz, mészliszt, mészdara, mészhidrát, hidraulikus mész) szemnagyságának jellemzője. Vizsgálatát szitamódszerrel szokás végezni. A száraz vagy kiszárított állapotú vizsgálati mintán végzett szitavizsgálat eredményét cement esetén őrlési finomságnak (MSZ EN 196-6:1992), gipsz esetén őrlésfinomságnak (MSZ 57:1977), mész esetén szitamaradéknak (MSZ 108-11:1992) nevezik.

A szitamódszerrel meghatározott őrlési finomság (őrlésfinomság, szitamaradék) a vizsgálószitán fennmaradt anyag tömegének és a vizsgálati minta teljes tömegének hányadosa tömeg%-ban kifejezve. A vizsgálószita nyílása (lyukbősége) cement esetén 0,09 mm, gipsz esetén 0,2 mm, mész esetén 0,09 mm, 0,2 mm, 0,63 mm, 2,5 mm.

Cement esetén az őrlési finomságot légáteresztő képesség vizsgálattal (Blaine módszer) is meg lehet határozni (MSZ EN 196-6:1992). A vizsgálat eredménye a fajlagos felület ◆ értéke. A fajlagos felület értéke a cement sűrűségének ◆ is függvénye, ezért nem kizárólagosan a szemnagyság ◆ jellemzője.

Az őrlési finomság értékére a cement termékszabvány (MSZ EN 197-1:2000) nem tartalmaz, a gipsz termékszabvány (MSZ 57:1977) és az építési mész termékszabvány (MSZ 108-2:1992) tartalmaz követelményt. Régebben a cementek őrlési finomságát is előírták (MSZ 4702-2:1981). Az őrlési finomságot az MSZ EN 197-1:2000 cement termékszabvány csak bizonyos főalkotórész (bázikus pernye ◆) vizsgálati feltételeiül írja elő, 0,04 mm nyílású vizsgálószita alkalmazásával.

Az őrlési finomság növekedésével általában és bizonyos határig növekszik a kötőanyag szilárdsága, de a kötőanyag őrlési finomságának növelése a beton, a habarcs vagy a pép szilárdsága ◆ növelésének nem az egyetlen és kizárólagos eszköze.

Jelmagyarázat: ◆ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a BETON szakmai havilap 2001. július-augusztus havi számának 13. oldalán

Kötőanyagok őrlési finomságának vizsgálata szitamódszerrel

MSZ EN 196-6:1992 Cementvizsgálati módszerek. 6. rész: Az őrlési finomság meghatározása 3. fejezet: Szitamódszer	MSZ 57:1977 Gipsz kötőanyagok 3.3 fejezet: Az őrlésfinomság vizsgálata
Vizsgálóeszközök	
Vizsgálószita A vizsgálószita nem rozsdásodó, 150-200 mm névleges átmérőjű, 40-100 mm magasságú henger alakú keretből és ***90 µm (0,09 mm)*** *lyukbőségű*, rozsdamentes acélból vagy egyéb kopásálló és nem rozsdásodó huzalból készült szitaszövetből áll. A keret alján egy szitafeneket, felső részén pedig fedőlemezt kell elhelyezni. A vizsgálószita az ISO 565 és ISO 3310-1 szabvány szerinti kell, hogy legyen.	**Vizsgálószita** A vizsgálószita *lyukbősége* ***200 µm (0,2 mm)***. A vizsgálószita az MSZ 695 szabvány szerinti kell, hogy legyen.
Mérleg A mérleg legalább 10 g méréshatárú és 10 mg (0,01 g) pontosságú legyen.	**Mérleg** 50 mg (0,05 g) pontosságú táramérleg.
	Szárítószekrény Felfűthetősége legalább 100 °C legyen.
	Hőmérő A hőmérő méréshatára 100 °C

Szitagép A szitálás esetleg szitagéppel is elvégezhető, ha annak eredménye a kézi szitálás eredményétől nem tér el.	**Szitagép** A szitálás esetleg szitagéppel is elvégezhető. Döntővizsgálat esetén kézi szitálást kell alkalmazni.
Vizsgálati minta	
A vizsgálati minta mérésenként kb. 10 g tömegű **cement**, amelyet 0,01 g pontossággal kell lemérni.	A vizsgálati minta mérésenként 50 g tömegű **gipsz**, amelyet 0,1 g pontossággal kell lemérni.
Vizsgálati eljárás	
A vizsgálandó cementmintát zárt edényben 2 percig összerázzuk, hogy az összetapadt anyagrészecskéket fellazítsuk. A mintát az edényben ezután 2 percig pihentetjük. A port tiszta, száraz pálcával óvatosan összekeverjük, hogy a finom alkotórészek a cementben egyenletesen szétoszoljanak. A szitafeneket a szita alá helyezzük. 10 g körüli mennyiségű cementet 0,01 g pontossággal lemérünk és rázás nélkül a szitára helyezzük. Az esetleg előforduló csomósodásokat szétoszlatjuk. Utána felerősítjük a szitára a fedőlemezt. A szitát vízszintesen, körkörösen mozgatjuk mindaddig, amíg további részecske már nem hullik át a szitán. A szitáról levesszük a fedőlemezt, majd a szitát levesszük a szitafenékről és a szitán levő maradék cement tömegét 0,01 g pontossággal lemérjük.	A vizsgálandó gipszből 200 g-ot előzetesen szárítószekrényben - legfeljebb 10 mm vastagságban elterítve - (50 ± 3) °C hőmérsékleten 1 órán át kell szárítani. A kiszárított gipsz kötőanyagból 50 g tömegű vizsgálati mintát 0,1 g-ra pontosan le kell mérni, majd a szitára kell szórni, ezután kézzel, vagy szitagéppel a szitálást el kell végezni. A szitálást akkor kell befejezettnek tekinteni, ha kézi szitálás esetén 1 perc alatt a szitán 0,05 g-nál kevesebb anyag hullik át.
Vizsgálati eredmény	
A szitán fennmaradt cement tömegét a szitált vizsgálati minta teljes tömegére vonatkoztatva tömeg%-ban, 0,1% pontossággal adjuk meg. Ezt nevezzük őrlési finomságnak (őrlésfinomságnak).	A szitán fennmaradt gipsz tömegét a szitált vizsgálati minta teljes tömegére vonatkoztatva tömeg%-ban, 0,1% pontossággal adjuk meg. Ezt nevezzük őrlési finomságnak (őrlésfinomságnak).

Ismétlések száma	
A vizsgálati eljárást újabb 10 g tömegű vizsgálati mintával meg kell ismételni. Ha a két mérés vizsgálati eredménye abszolút értékben több mint 1 %-kal eltér egymástól, akkor harmadik szitálást is kell végeznünk.	A vizsgálati eljárást újabb 50 g tömegű vizsgálati mintával meg kell ismételni.
Mértékadó vizsgálati eredmény	
Mértékadó vizsgálati eredmény az ismétlések számától függően a *két* vagy a *három* mérés vizsgálati eredményének átlaga, amelyet 0,1 tömeg% pontossággal kell kiszámítani. Az *ismételhetőség* szórása legfeljebb 0,2%, az *összehasonlíthatóság* szórása legfeljebb 0,3% lehet.	Mértékadó vizsgálati eredmény a *két* mérés vizsgálati eredményének átlaga, amelyet 0,1 tömeg% pontossággal kell kiszámítani.
Követelmény a termékekre	
Cement, MSZ EN 197-1:2000	**Gipsz kötőanyagok, MSZ 57:1977**
	Durva gipsz, I. jelű: legfeljebb 30 tömeg% Középfinom gipsz, II. jelű: legfeljebb 15 tömeg% Finom gipsz, III. jelű: legfeljebb 2 tömeg% szitamaradék a 0,2 mm lyukbőségű szitán.

Kötőanyagpépek szabványos folyósságának vizsgálata

MSZ EN 196-3:1990 **Cementvizsgálati módszerek.** **3. rész: A kötési idő és a térfogatállandóság meghatározása** **5. fejezet: A szabványos folyósság vizsgálata**	**MSZ 57:1977** **Gipsz kötőanyagok** **3.4.1.-3.4.3. fejezetek: A szabványos folyósság vizsgálata**
Vizsgálóeszközök	
E szabvány szerinti **Vicat-féle tűs készülék**, amelynek **merülőrúdja** korrózióálló fémből készült, szabályos henger alakú; hasznos hosszúsága (50±1) mm és átmérője (10±0,05) mm. A mozgó részek össztömege (300±1) g. A mozgó részek függőleges irányban érdemleges súrlódás nélkül elmozdulhatnak. Tengelyük egybe esik a merülőrúd tengelyével. A **Vicat-gyűrű**, amelybe a vizsgálandó cementpépet kell helyezni, keménygumiból (esetleg fémből vagy műanyagból) készül. A Vicat-gyűrű kúpos kiképzésű, magassága (40±0,2) mm, belső átmérője felől (70±5) mm, alul (80±5) mm. A gyűrű legyen megfelelően merev. A Vicat-készüléket a hozzá tartozó merülőrúddal a vizsgálat előtt **be kell állítani**; ehhez a merülőrudat le kell engedni az aláhelyezett üveglapig, és a mutatót a skála nullpontjára kell állítani.	Legalább 500 cm^3 térfogatú, korrózióálló anyagból készített **tál**
	250 mm hosszúságú, mm beosztású **vonalzó**
	Polírozott belső felületű, rozsdamentes fémből készült, 50 mm belső átmérőjű, 100 mm magas **henger**
	Stopperóra
Mérőhenger vagy **büretta**, a mért térfogatra vonatkoztatott 1 % pontossággal.	
Legalább 2,5 mm vastag és a gyűrű átmérőjénél nagyobb méretű **üveglap**	240 mm-nél nagyobb átmérőjű **üveglap**

Keverőgép, az EN 196-1:1987 szabvány 4.4. fejezete szerint. Kézi keverést csak akkor szabad alkalmazni, ha az bizonyíthatóan a gépi keveréssel megegyező vizsgálati eredményre vezet.	Háromnál több huzalhurokkal rendelkező **kézikeverő**
Mérleg, 1 g mérési pontossággal.	**Mérleg**, 1 g mérési pontossággal.
Vizsgálati minta	
A vizsgálati minta mérésenként 500 g tömegű **cement**, amelyet 1 g pontossággal kell lemérni. A próbatestek előállítására desztillált vagy ionmentesített, illetve ezekkel azonos hatású **vizet** kell használni.	A vizsgálati minta 300-350 g tömegű **gipsz**
Vizsgálati eljárás	
A cementpép elkészítése Le kell mérni 500 g cementet 1 g pontossággal. Meghatározott mennyiségű vizet - például 125 g-ot - kell a keverőtálba bemérni a mérőhengerből vagy a bürettából. A cementmennyiséget gondosan kell a vízhez hozzáadagolni, hogy a víz vagy a cement veszteségét elkerüljük A cement hozzáadásának időtartama legkevesebb 5 másodperc lehet, de a 10 másodpercet nem lépheti túl. A további időmérésekhez a cementhozzáadás befejezésének időpontját kell nulla-időpontnak tekinteni. Ezután a keverőgépet kis sebességfokozattal 90 másodperc időtartamra üzembe kell helyezni. A 90 másodperc eltelte után a keverőgépet 15 másodpercre meg kell állítani. Ez idő alatt a keverőzónán kívül a keverőedény falára tapadt cementpépet egy erre a célra alkalmas lapátkával el kell távolítani, és vissza kell helyezni a keverékbe. Ezt	**A gipszpép elkészítése** Az előzőleg szövettel kitörölt tiszta tálba először a gipsz kötőanyag tulajdonságaitól függő mennyiségű vizet kell betölteni. Ezután a vízbe 2-3 másodperc alatt 300-350 g gipsz kötőanyagot kell szórni. Az anyagot a gipsz vízbe szórásának kezdő időpontjától számított 30 másodpercig a kézi keverővel kell átkeverni. **A henger megtöltése** A keverés befejezése után az előzetesen szövettel letörölt üveglap közepére helyezett tiszta hengert gipszpéppel meg kell tölteni, a felesleges mennyiséget vonalzóval le kell húzni. **Szétterülés vizsgálat** A gipsz kötőanyag vízbe szórásának

követően a keverőt további 90 másodperc időtartamig kis sebességfokozattal üzemeltetni kell. A teljes keverési időtartam három perc.

A gyűrű megtöltése

Az előzőleg vékonyan bezsírozott üveglapra állított Vicat-gyűrűt a megkevert cementpéppel, felesleges tömörítés vagy rázás nélkül, azonnal túlcsordulásig kell tölteni. A felesleges cementpépet egy erre alkalmas egyenes élű eszközzel óvatos ide-oda mozgatással úgy kell a gyűrű felső felületéről lesimítani, hogy a gyűrűben levő cementpép sima felületű legyen.

Behatolási vizsgálat

A Vicat-gyűrűt az üveglappal együtt a cementpép lesimítása után azonnal a Vicat-készülék merülőrúdja alá, középre kell helyezni. Ezt követően a merülőrudat addig kell óvatosan leereszteni, míg a cementpép felületével érintkezésbe kerül. A rúdnak ebben a helyzetben kell 1-2 másodpercig maradnia a besüllyedésnél fellépő gyorsulásának vagy a mozgó alkatrészek jelentősebb gyorsulásának elkerülésére. Ezután a mozgó részeket hirtelen el kell engedni úgy, hogy a merülőrúd függőlegesen a cementpép közepébe süllyedjen. A behatolási vizsgálatot a cement keverőbe adagolásának befejezése (nulla idő) után 4 perccel kell elvégezni. A *besüllyedési mélységet* (a merülőrúd alsó vége és az üveglap közötti távolság) akkor kell a skálán leolvasni, amikor a merülőrúd már nem süllyed tovább a cementpépben, legkésőbb azonban 30 másodperc eltettével.
A merülőrudat minden mérés után azonnal meg kell tisztítani.

kezdetétől számított 45 másodperc vagy a keverés befejezésétől számított 15 másodperc után a hengert nagyon gyorsan, függőlegesen 150-200 mm magasra kell emelni, majd oldalirányban eltávolítani.

Vizsgálati eredmény	
A vizsgálati eredmény a merülőrúd besüllyedési mélysége, valamint a cementpép víztartalmának a cement tömegére vonatkoztatott százalékos értéke. A cementpép akkor szabványos folyósságú, ha a besüllyedési mélység (a rúd vége az üveglap felett) **(6±1) mm**.	A szétfolyt gipsz-lepény átmérőjét közvetlenül a henger felemelése után vonalzóval két egymásra merőleges irányban 5 mm-re pontosan le kell mérni, és a két mérés számtani középértékét ki kell számítani. A gipszpép akkor szabványos folyósságú, ha a szétterülő gipszpép-lepény átmérője **(180±5) mm**.
Ismétlések száma	
A méréseket különböző vízmennyiségeket tartalmazó cementpépekkel mindaddig kell ismételni, amíg a merülőrúd és az üveglap közötti távolság (6±1) mm lesz.	Ha az átmérő (180±5) mm-nél kisebb, vagy nagyobb, akkor a vizsgálatot megváltoztatott tömegű vízzel meg kell ismételni mindaddig, amíg a pép szabványos folyósságú lesz.
Mértékadó vizsgálati eredmény	
A szabványos folyósságú cementpép víztartalmának 0,5%-ra kerekített értéke a mértékadó vizsgálati eredmény.	A szabványos folyósság eléréséhez szükséges víz tömegét a gipsz tömegéhez viszonyítva, tömeg%-ban kell megadni. Ez a mértékadó vizsgálati eredmény.

Víz-cement tényező, víz/cement tényező

Németül:	Wasserzementwert, Wasserzementfaktor, w/z-Wert
Angolul:	Water/cement factor, Water-cement ratio
Franciául:	Rapport eau/ciment, rapport E/C

A víz-cement tényező a friss beton víz- és cementtartalmának tömegaránya, amely a beton nyomószilárdságának meghatározója. *Abrams* (1918) ❖ „víz-cement tényező – nyomószilárdság" törvénye a betontechnológia legalapvetőbb anyagtani szabálya, amelynek eredeti alakja:

$$K = \frac{A}{B^x}$$

ahol K a beton nyomószilárdsága, x a víz-cement tényező, „A" és „B" függvényállandók.

Az *Abrams*-féle törvény *Hummel* (1959) megfogalmazásában így szól: „A valamely keverési arány mellett még jól bedolgozható földnedves (inkább kissé képlékeny) friss beton keveréket eredményező víz-cement tényezőt tekintve, a cementkő, a cementhabarcs és a beton nyomószilárdsága ❖ a víz-cement tényező növekedésével rohamosan csökken, miközben csökken a hajlító-húzószilárdság ❖, a kopásállóság ❖ és a rugalmassági modulus ❖, és növekszik a zsugorodás ❖". A szilárdságcsökkenés magyarázata, hogy a víz-cement tényező növekedésével a cementkő pórustartalma növekszik.

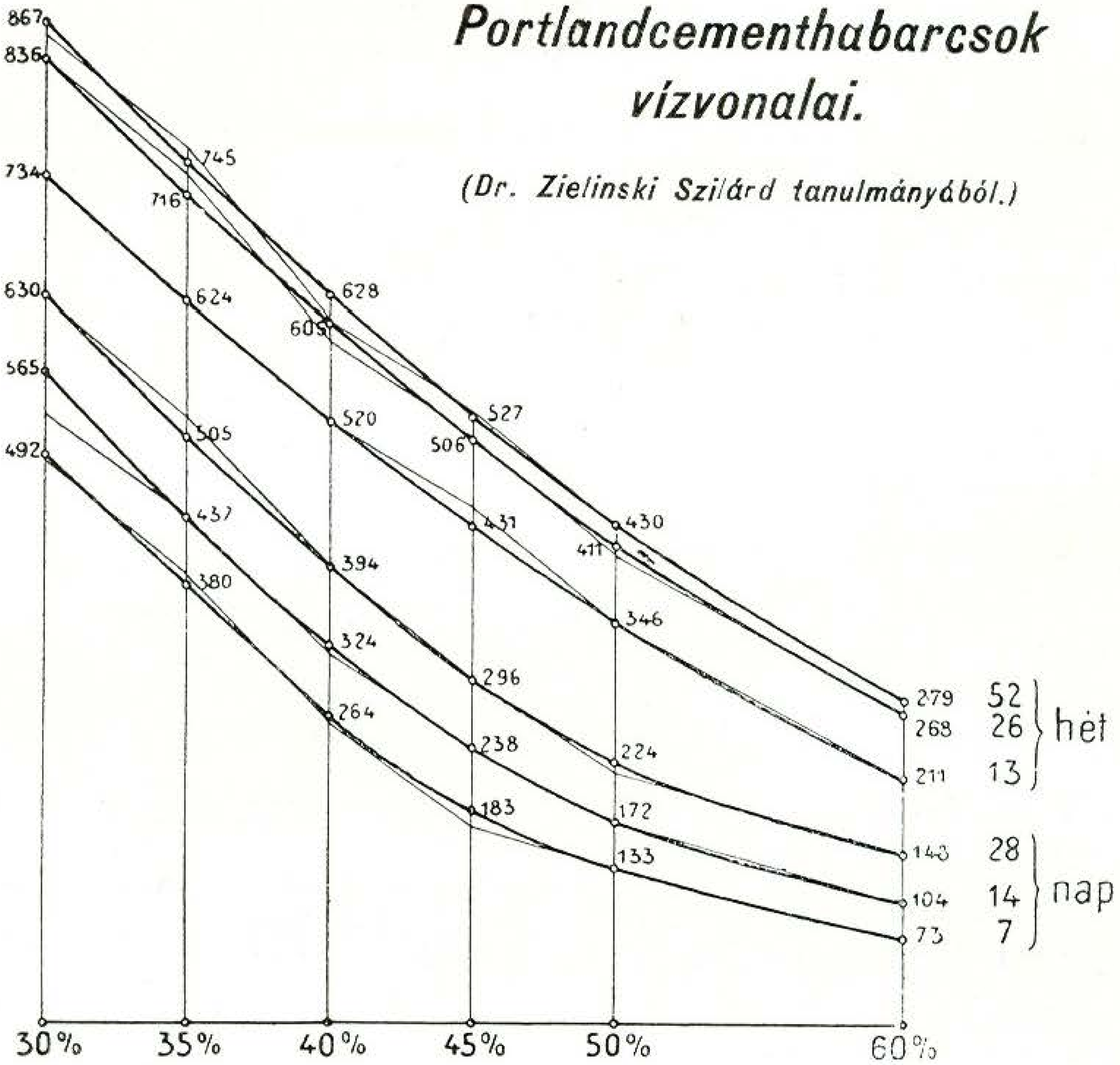
1. Megjegyzés: A friss beton víztartalma a keverővíznek és az adalékanyag felületi nedvességének összege, ahol az adalékanyag felületi nedvessége az adalékanyag nedvességtartalmának és fél- vagy egyórás vízfelvételének különbsége, amely szükség esetén a párolgási veszteséggel csökkentendő. Ezt a víztartalmat, ill. az ebből meghatározott víz-cement tényezőt az MSZ EN 206-1:2002 és az MSZ 4798-1:2004 szabvány *hatékony víztartalomnak*, ill. víz-cement tényezőnek nevezi.

2. Megjegyzés: Ha egy teljesen hidratált cementkő ❖ víztartalma 29,6 tömeg%, akkor a cementtartalma 100 − 29,6 = 70,4 tömeg%, és a víz-cement tényezője x = 29,6/70,4 = 0,42 (*tömegarány*). Ha ez a víztartalom teljes egészében gélvíz – amely nem csak el nem gőzölhető, hanem elgőzölhető vizet is tartalmaz – és ennek sűrűsége a gélpórusokban uralkodó nyomás folytán $\rho_{\text{gélvíz}}$ = 1,35 g/cm^3, továbbá a cement anyagsűrűsége ρ_{cement} = 3,125 g/cm^3, akkor az x = 0,42 értékű víz-cement tényező $x\cdot(\rho_{\text{cement}}/\rho_{\text{gélvíz}}) = 0{,}42\cdot(3{,}125/1{,}35) = 0{,}42\cdot 2{,}315 \approx 0{,}972$ víz-cement *térfogataránynak* felel meg, azaz a teljesen hidratált cementkőben a gélvíz $V_{\text{gélvíz}} = 100\cdot x/(x + (\rho_{\text{gélvíz}}/\rho_{\text{cement}}))$ = = 49,3 térfogat% helyet foglal el.

Powers és *Brownyard* (1948) kimutatta (cement hidratációja ❖), hogy a teljes hidratációhoz szükséges 26 tömeg% kémiailag kötött vízmennyiség elvi adat, mert a hidratációs termékek helyigénye több mint a hidratálatlan cementé, és a helyszükséglet gyakorlatban csak 0,42 értékű víz-cement tényező mellett biztosított. (A kettő különbsége 16 tömeg%, ez elgőzölhető víz.)

Hazánkban először *Zielinski* (1901, 1909) ❖, az *Anyagvizsgálók Magyar Egyesületében* végzett kísérleteinek eredményei alapján hívja fel a figyelmet a víz-cement tényező jelentőségére. Közöl egy ábrát (*1. ábra*), amelyen 0,3 és 0,6 közötti víz-cement tényezők függvényében a 7, 14, 28 napos és 13, 26, 52 hetes portlandcement-habarcsok szilárdságát

tünteti fel, és megállapítja, hogy „a beton szilárdulásának fejlődése általában apad a víz mennyiségének fokozásával” (*Lampl* és *Sajó*, 1914).



1. ábra: *Zielinski Szilárd* 100 éves ábrája „A román- és portlandcementek szilárdulása pépben, habarcsban és betonban” című, Budapesten, 1909-ben megjelent tanulmányában. Forrás: *Lampl* és *Sajó*, 1914. A vízszintes tengelyen a száraz anyagra (cement + homok) vonatkoztatott víztartalmat ábrázolták tömeg%-ban, a függőlegesen a nyomószilárdságot kg/cm^2 mértékegységben.

Palotás ❖ az Építési Zsebkönyvben (1934), majd a Minőségi beton c. könyvben (1952) arról ír, hogy a víz-cement tényezőnek elsőrangúan fontos szerepe van a beton szilárdságára. *Feret* (1892), *Abrams* (1918), majd *Bolomey* (1926) és *Graf* (1939), valamint mások kísérletei szerint a beton nyomószilárdságát azonos kísérleti feltételek mellett egyedül a vízmennyiség szabja meg, tekintet nélkül az alkalmazott cementmennyiségre, ha – teszi hozzá *Abrams* – a beton bedolgozhatóan képlékeny (plasztikus), vagy más szóval: az azonos víz-cement tényezővel készült, bedolgozhatóan képlékeny betonokat gyakorlatilag azonos szilárdság jellemezi. A víz-cement tényező növelésével rohamosan csökken a szilárdság. Természetes tehát a törekvés a víz-cement tényező csökkentésére, amelynek egyik hatásos, de a gazdaságosságra és a beton más tulajdonságaira (zsugorodás) is hátrányos módja a cementmennyiség növelése. Gyakorlatilag célravezetőbb mód a szemmegoszlás helyes megválasztása (és korunkban folyósító adalékszer alkalmazása). Képlékeny és öntött keverékre az SI mértékegységrendszerben *Abrams* víz-cement tényező összefüggése: $K \approx 0{,}1 \cdot A/B^x$, *Graf* összefüggése 600 kísérlet alapján (1950): $K \approx 0{,}1 \cdot A/x^2$, *Bolomey* összefüggése: $K \approx 0{,}1 \cdot A(x^{-1} - 0{,}5)$, ahol K a beton kockaszilárdsága N/mm^2-ben, x a víz-cement tényező,

„A" és „B" az esetenként (általában a cement-féleség függvényében) meghatározandó függvényállandó.

Elsősorban a földnedves betonok esetén, de a beton konzisztenciájától függetlenül is előnyösen használható a beton várható szilárdságának előrebecslésére a *víz-levegő-cement tényező*, amely a cementkő teljes jellemzését adja: $r = (M_{Víz} + V_{Levegő})/M_{Cement})$, ahol az M tömeg kg-ban, a V térfogat literben értendő. Az r víz-levegő-cement tényező az x víz-cement tényező és a levegő-cement tényező ($l = (V_{Levegő})/M_{Cement})$ összege, amely utóbbi a cementkő porozitását fejezi ki azzal, hogy a cement tömegegységére eső pórustérfogatot adja meg (*Palotás*, 1938, 1952).

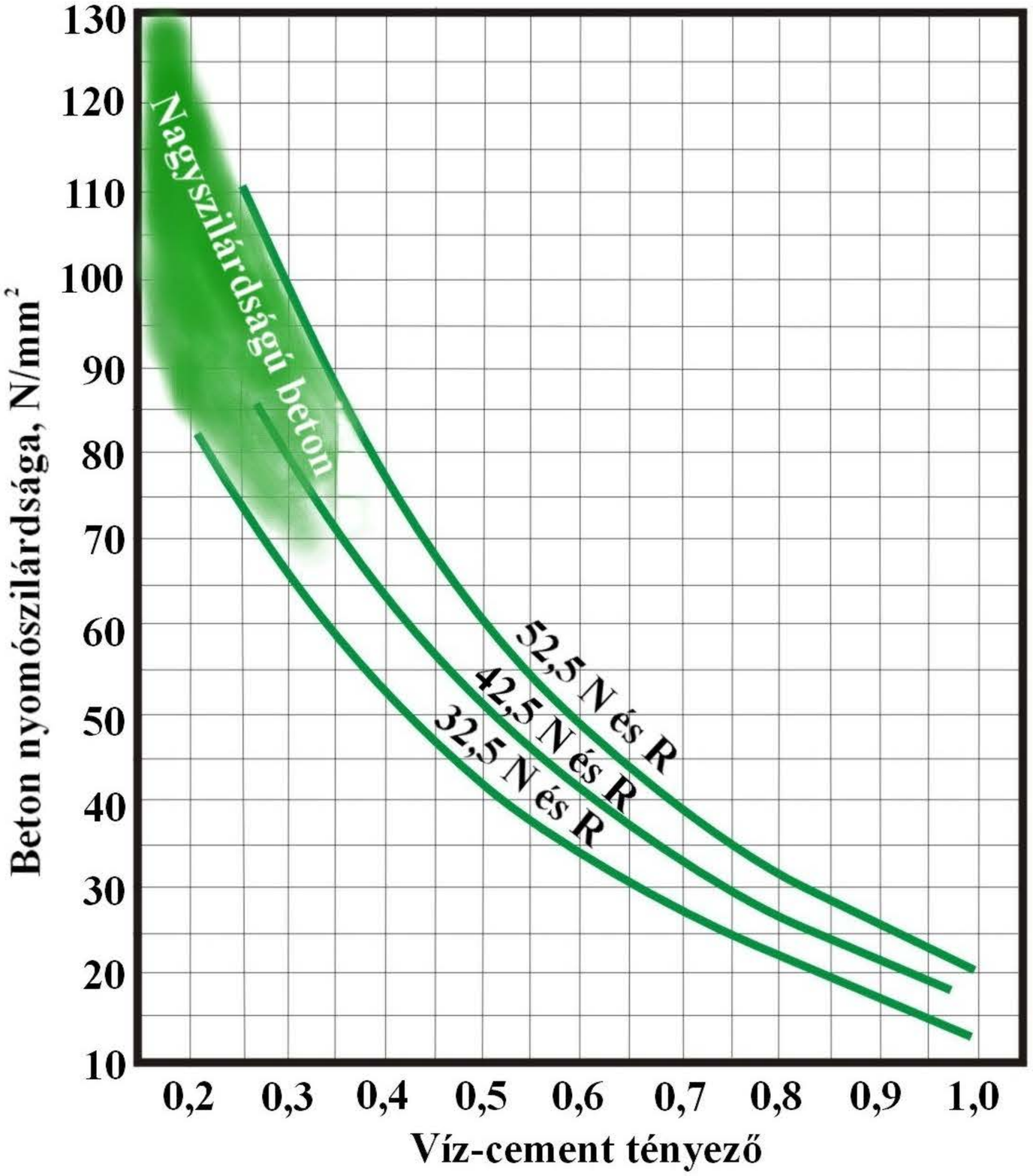
Weisz (1952) az *Abrams*-féle víz-cement tényező törvényt közérthetően így magyarázza: „Ha ugyanis a víz-cement tényező növekszik, akkor a cement kötése szempontjából felesleges vízmennyiség is növekszik, ennek a víznek a betonból el kell párolognia, és helyén pórusok keletkeznek, amelyek a beton szilárdságát rontják. Így tehát a víz-cement tényező a beton pórustartalmának közvetlen mérőszáma minden olyan esetben, amikor a beton oly tömören bedolgozható, hogy a fölös víz helyén keletkező pórusokon kívül csak lényegtelen mennyiségű pórus marad a betonban. Ezért a víz-cement tényező csak a kis levegőtartalmú képlékeny betonok hézagtérfogatára jellemző. A fölös víz helyén visszamaradó pórusokon kívül egyéb pórust is tartalmazó földnedves betonok jellemzésére a víz-levegő-cement tényezőt kell használni."

Palotás (1979) szerint a cementkő egyensúlyi állapotához tartozó *egyensúlyi víz-cement tényező* (x_e) a tényleges, kezdeti víz-cement tényező (x_k) függvényében az $x_e = 0{,}281 + 0{,}1 \cdot x_k$ összefüggéssel fejezhető ki, ha a hidratációs fok 0,85, a levegő relatív nedvességtartalma 70 %, a telített cementkő maximális gélvízmennyiségére vonatkoztatott, a relatív nedvességtartalom függvényét képező gélvízmennyiség 0,7; és a telített cementkő maximális kapilláris vízmennyiségére vonatkoztatott, a relatív nedvességtartalom függvényét képező kapilláris víz 0,1. Ebben az esetben a friss és a megszilárdult beton testsűrűségének különbsége az elpárolgott víz mennyiségével kifejezve: $\Delta\rho_{beton} = (M_{Vk} - M_{Ve}) = M_C \cdot (x_k - x_e) = = M_C \cdot (0{,}9 \cdot x_k - 0{,}281)$, azaz például, ha a cementtartalom $M_C = 300$ kg/m^3 és a kezdeti víz-cement tényező $x_k = 0{,}4$, akkor az egyensúlyi víz-cement tényező $x_e = 0{,}321$, valamint a friss és a megszilárdult beton testsűrűségének különbsége $\Delta\rho_{beton} = (M_{Vk} - M_{Ve}) = 300 \cdot (0{,}4 - - 0{,}321) = 23{,}7$ kg/m^3.

Általában feltételezhető, hogy $x_k = 0{,}35$-$0{,}60$ közötti kezdeti víz-cement tényező esetén az egyensúlyi víz-cement tényező értéke $x_e = 0{,}316$-$0{,}341$. Eszerint az egyensúlyi víz-cement tényező alig függ az adagolt keverővíz mennyiségétől, azaz a gélpórusok ❖ mennyisége a víz-cement tényezőtől alig, inkább csak a hidratációs foktól ❖ függ. Ezzel szemben a kapillárpórusok ❖ mennyiségét a víz-cement tényező jelentősen befolyásolja. Ez arra is figyelmeztet, hogy a kezdetben kiszáradni hagyott cementkő, illetve beton szilárdsága nem fogja elérni a megkívánt mértéket.

A víz-cement tényező törvény kiegészíthető *Abrams* másik nagyjelentőségű tételével is, amely kimondja, hogy az azonos finomsági modulusú ❖, legnagyobb szemnagyságú ❖, finomhomok tartalmú adalékanyagok azonos körülmények között, azonos konzisztencia ❖ eléréséhez lényegében azonos víz-cement tényezőt kívánnak. Kimutatták, hogy ez a törvényszerűség nem csak folyamatos, hanem lépcsős szemmegoszlás ❖ esetén is fennáll, sőt egylépcsős szemmegoszlás esetén kevesebb vízzel érhető el ugyanazon folyósság, és a bedolgozhatóság is jobb (*Palotás* 1952, *Weisz* 1952). Tapasztalat, hogy a bedolgozhatósághoz szükséges víz-cement tényező zúzottkő adalékanyag esetén 5-10 %-kal nagyobb, mint homokos kavics adalékanyag esetén.

A víz-cement tényező és a betonnyomószilárdság összefüggését különböző DIN EN 197 szabvány szerinti cementfajták esetére grafikusan *Walz* ábrázolta (*2. ábra*).

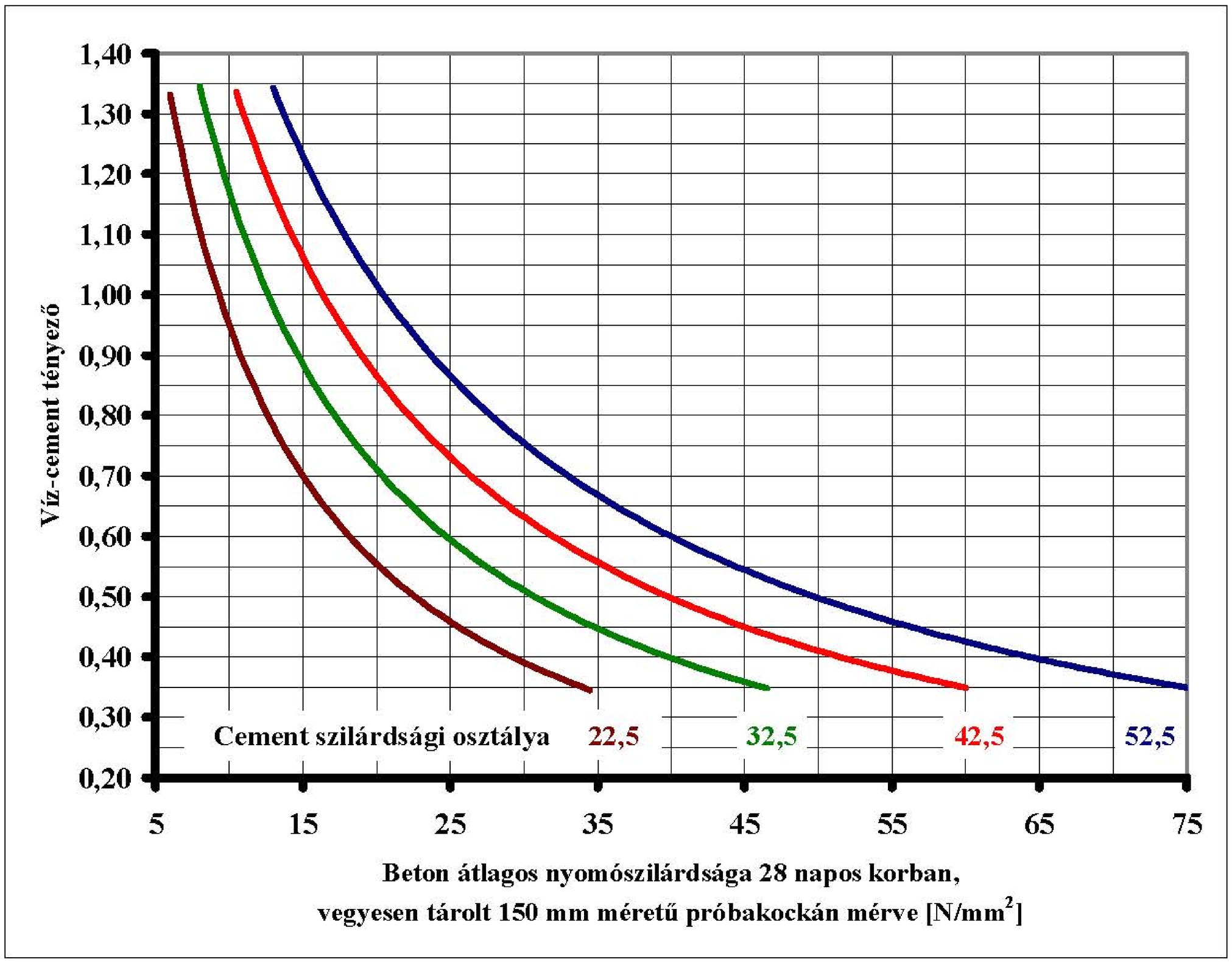


2. ábra: A víz-cement tényező és a beton nyomószilárdságának összefüggése *Walz* szerint
Forrás: http://www.heidelbergzement.de

Hazai gyakorlatban az alkalmazandó víz-cement tényezőt (x) a beton tervezett átlagos, 28 napos nyomószilárdságának (K) függvényében, például a *Bolomey-Palotás*-féle összefüggés alapján (*Palotás*, 1980) szoktuk meghatározni:

$$x = \frac{1}{\frac{R}{A} + 0{,}3}$$

ahol R a beton 200 mm méretű, vegyesen tárolt, 28 napos korú próbakockán értelmezett, N/mm^2-ben kifejezett átlagos nyomószilárdsága, és az „A” értéke CEM 52,5; CEM 42,5; CEM 32,5; CEM 22,5 szilárdságú cement esetén rendre 27,5; 22,0; 17,0; 12,5. Az R nyomószilárdságot a beton ma használatos jeléből az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD N2. táblázatából kapjuk meg (*3. ábra*).



3. ábra: A víz-cement tényező a beton nyomószilárdságának függvényében a *Bolomey-Palotás*-féle összefüggés alapján

Ujhelyi (2005) összehasonlította *Feret*, *Powers*, *Abrams*, *Bolomey* különböző alakú víz-cement tényező és nyomószilárdság összefüggését, és megállapította, hogy a különböző becslő képletekkel különböző beton nyomószilárdságokat lehet kapni, és az eltérés szélső esetben 8-12 N/mm^2 is lehet. Az eltéréseket a felhasznált cementek különböző vízérzékenységének tulajdonítja. A cementek vízérzékenysége alatt *Ujhelyi* azt érti, hogy különböző cementfajták a különböző vízadagolások (különböző víz-cement tényezők) mellett eltérő módon viselkednek, például vannak cementek amelyek szilárdsága nagyobb vízadagolás mellett gyorsabban csökken, mint más cementeké, és fordítva. A cement vízérzékenységének hatását 0,35; 0,55 és 1,0 értékű víz-cement tényezővel végzett betonkísérletekkel meghatározott függvényparaméterek („n”, „A”, „B”) alkalmazásával lehet kiküszöbölni az *Abrams*-féle összefüggésből továbbfejlesztett függvény segítségével, amelynek alakja:

$$f_{cm,H} = A \cdot e^{-B \cdot x^n}$$

ahol $f_{cm,H}$ a beton vegyesen tárolt, 3 db 150 mm méretű próbakockán meghatározott, 28 napos átlagos nyomószilárdsága és x a víz-cement tényező.

A víz-cement tényező nem csak a beton szilárdságát, hanem szilárdulási sebességét is befolyásolja. A szilárdulási sebesség a felhasznált cement fajtájától és a víz-cement tényezőtől függ; minél több aktív kiegészítő-anyagot tartalmaz a cement és minél nagyobb a víz-cement tényező, annál lassúbb a szilárdulás (MSZ 4798-1:2004).

A trasz, hidraulikus kohósalak, savanyú (ritkán bázikus) pernye, savanyú szilikapor kiegészítőanyagokat (az ún. II. típusú kiegészítőanyagokat) a víz-cement tényezőben akkor szabad számításba venni, ha puccolános (pl. trasz) vagy rejtett hidraulikus (pl. kohósalak, pernye, szilikapor) tulajdonságukat kísérletekkel megállapították. Ebben az esetben a víz-cement tényező helyettesíthető a „víz/(cement + *k*·kiegészítőanyag) tényező”-vel. A „víz/(cement + *k*·kiegészítőanyag) tényező” ne legyen nagyobb, mint az adott környezeti osztályra az MSZ 4798-1:2004 szabványban előírt legnagyobb víz-cement tényező. A „*k-érték*” felvételéről az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány intézkedik az 5.2.5.2. szakaszban:

- legfeljebb 0,33 pernye/cement tömegarány és CEM I 32,5 típusú cement esetén k = 0,2;
- legfeljebb 0,33 pernye/cement tömegarány és CEM I 42,5 vagy CEM I 52,5 esetén k = 0,4;
- legfeljebb 0,11 szilikapor/cement tömegarány esetén k = 2,0,
- legfeljebb 0,11 szilikapor/cement tömegarány esetén a 0,45 értéknél nagyobb víz-cement tényezővel készülő betonok esetén, ha a környezeti osztályuk XC és XF, akkor k = 1,0.

A cementtartalmat a környezeti osztálytól függően pernye kiegészítőanyag alkalmazás esetén legfeljebb *k*·(előírt cementtartalom – 200) kg/m^3 értékkel, szilikapor kiegészítőanyag alkalmazás esetén – ha a megengedett legkisebb tartalom ≤ 300 kg/m^3 – legfeljebb 30 kg/m^3 értékkel szabad csökkenteni.

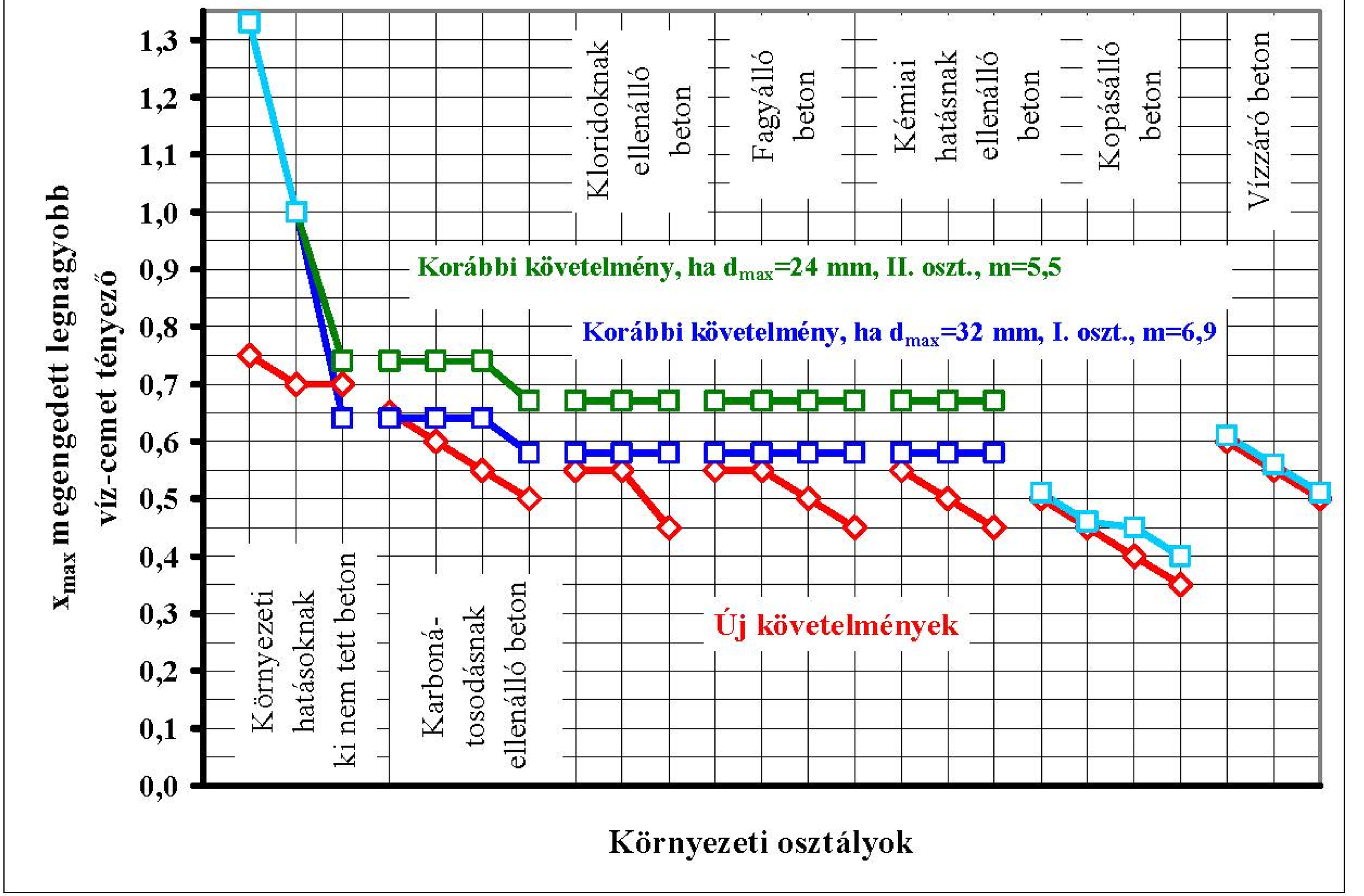
A *kiegészítőanyagok k-érték elvét* ❖ külön szócikkben részletesebben tárgyaljuk.

Az MSZ EN 206-1:2002 és az MSZ 4798-1:2004 szabvány előírja, hogy ha a folyadékállapotú adalékszer teljes mennyisége 3 liter/m^3 beton értéknél több, akkor annak víztartalmát be kell számítani a víz-cement tényezőbe.

Az MSZ CR 13902:2000 CEN jelentés holland és egyesült királyságbeli tapasztalatok alapján ad módszereket a friss beton víz- és a cementtartalmának vizsgálatára, amelyek eredményéből a friss beton tényleges víz-cement tényezője meghatározható.

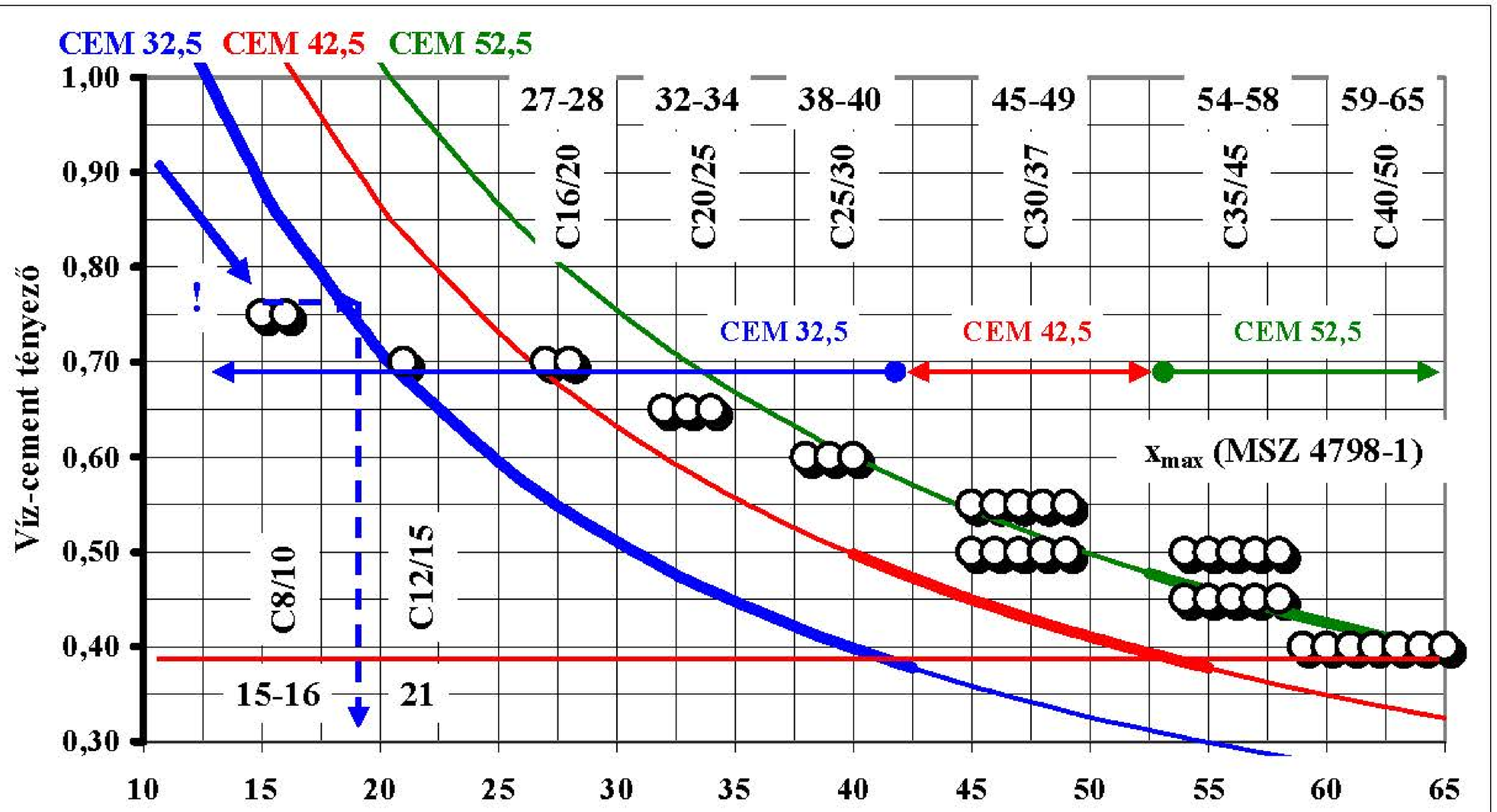
A víz-cement tényező korlátozása a tartós beton készítésének feltétele. Ezért az új betonszabványok (MSZ EN 206-1:2002, MSZ 4798-1:2004) egyéb feltételek mellett környezeti osztályonként ❖ megjelölik azokat a víz-cement tényező határértékeket, amelyek figyelembevételével készített betonok a tervezett 50 év használati élettartam alatt a remények szerint károsodás nélkül viselik a környezeti hatásokat. A víz-cement tényező egyedi értéke a határértéknél legfeljebb 0,02-dal lehet nagyobb.

Az új európai szabványok környezeti osztályaihoz tartozó és e szabványok bevezetését megelőző hazai szabályozás szerinti víz-cement tényező határértékeket a *4. ábrán* vetettük egybe. Az új betonszabványok a környezeti feltételek teljesüléséhez mintegy 0,1 – 0,2 értékkel kisebb víz-cement tényező alkalmazását követelik meg, mint amekkorának az alkalmazását a korábbi nemzeti környezeti követelmények lehetővé tették.



4. ábra: Az új és a régi betonszabványok víz-cement tényező határértékeinek összevetése

Az *5. ábrán* az új környezeti osztályokhoz tartozó beton nyomószilárdságokhoz rendeltük, és a *Bolomey-Palotás*-féle víz-cement tényező függvénysoron ábrázoltuk a víz-cement tényező határértékeket. Az *5. ábrából* az olvasható ki, hogy a CEM 32,5 szilárdsági jelű cementet a C25/30 beton nyomószilárdsági osztályig, a CEM 52,5 szilárdsági jelű cementet a C35/45 beton nyomószilárdsági osztálytól felfele célszerű alkalmazni.



5. ábra: A nyomószilárdsági osztályokhoz tartozó megengedett víz-cement tényezők (MSZ 4798-1:2004) a *Bolomey-Palotás*-féle víz-cement tényező függvénysoron ábrázolva

Teljes hidratációhoz ❖ szükséges víz mennyisége a cementnek megközelítőleg mintegy 40 – 42 tömeg%-a (víz-cement tényezővel kifejezve: $x = 0{,}40$ vagy 0,42).

A víz-cement tényező csökkentése a pórustartalom csökkenése, ill. a cementkő tömörségének növekedése folytán akkor is szilárdság növekedéshez vezet, ha víz-, illetve helyhiány miatt a cementkőben a teljes hidratáció nem jön létre (*Riesz*, 1989). Ezt használja ki a mai betontechnológia, amely korszerű anyagok (pl. adalékszerek, hidraulikus tulajdonságú kiegészítő anyagok stb.) és gyártási módszerek (pl. intenzív tömörítés, hőérlelés stb.) alkalmazásával a klasszikus betontechnológia lehetőségeit messze meghaladja. Például ma már – *Powers* és *Brownyard* után 60 évvel (külföldön korábban) – $x_0 = 0{,}23$ alatti víz-cement tényezővel olyan különlegesen tömör betont, illetve finombetont lehet készíteni, amelynek nyomószilárdsága az $f_{ck,cyl} = 150$ N/mm^2 értéket is meghaladja. Ez az ún. ultra nagy szilárdságú beton ❖). Az ultra nagy szilárdságú beton hidratációs fokának végértéke a nagyon kis víz-cement tényező folytán $\alpha = 0{,}4 – 0{,}6$, és így a kiindulási klinker fázisok egy része hidratálatlan marad.

Felhasznált irodalom

Abrams, Duff A.: Design of concrete mixtures. Bull. 1. Structural Materials Research Laboratory, Lewis Inst. Chicago, 1918 és 1925.

Balázs György: Beton és vasbeton I. Alapismeretek története. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1994.

Balázs György: Barangolásaim a betonkutatás területén. Akadémiai Kiadó. Budapest, 2001.

Bolomey, J.: Bestimmung der Druckfestigkeit von Mörtel und Beton. Schweizerische Bauzeitung. Band 88. 1926.

Feret, R.: Sur la compacité des mortiers hydrauliques. Dunod. Paris, 1892.

Graf, O. – Walz, K.: vergleiche Prüfungen von Strassenbauzementen in der Versuchsanstalt und in der Strasse. Zement. No. 28. és 29. 1939.

Graf, Otto: Die Eigenschaften des Betons. Springer-Verlag. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1950.

Heidelberg Zement AG.: Betontechnische Daten. Zentraleuropa West, Entwicklung und Anwendung. Leimen, 2005. http://www.heidelbergzement.de

Hilsdorf, H. K.: Beton. Beton-Kalender Teil I. Verlag für Architektur und technische Wissenschaften. Berin, 1992.

Hummel, Alfred: Das Beton-ABC. 12. kiadás. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn. Berlin 1959.

Lampl Hugó – Sajó Elemér: A beton. Kiadta a „Pátria" Irodalmi Vállalat és Nyomdai Rt. Budapest, 1914.

Nothnagel, R.: Hydratations- und Strukturmodell für Zementstein. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig. Heft 200. 2007.

Palotás László: A beton. Fejezet a Möller Károly dr. szerkesztésében és kiadásában megjelent Építési Zsebkönyvben. Budapest, 1934.

Palotás László: A beton. Fejezet a Möller Károly dr. szerkesztésében megjelent Építési Zsebkönyvben. Kir. Magy. Egyetemi Nyomda kiadása. Budapest, 1938.

Palotás László: Minőségi beton. Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat. Budapest, 1952.

Palotás László: Fa – Kő – Fém – Kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana
2. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Palotás László: Beton – Habarcs – Kerámia – Műanyag. Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

Powers, T.C. – Brownyard, T.L.: Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. Journal of the American Concrete Institute, Proc. 43 (1947); Bulletin 22, Research Laboratories of the Portland Cement Association, Chicago, 1948.

Riesz Lajos (szerk.): Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1989.

Talabér József: Cementipari kézikönyv.Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1966.

Ujhelyi János: Betonismeretek. Műegyetemi Kiadó. Budapest, 2005.

Walz, K.: Herstellung von Beton nach DIN 1045. 2. kiadás. Beton-Verlag. Düsseldorf, 1972.

Weisz György: A betonozás technológiája. Közlekedési Kiadó. Budapest, 1952.

Zielinski Szilárd – Zhuk József: A románcementek összehasonlító vizsgálása és a gyakorlatban való felhasználásának ellenőrzése. Kilián Kiadó, Budapest, 1901.

Zielinski Szilárd: A román- és portlandcementek szilárdulása pépben, habarcsban és betonban. Az Anyagvizsgálók Nemzetközi

Egyesületének koppenhágai kongresszusán elhangzott előadás. Pátria Kiadó, Budapest, 1909.

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

MSZ EN 206-1:2002 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség

MSZ CR 13902:2000 Vizsgálati módszerek a friss beton víz/cement tényezőjének meghatározására. CEN jelentés

DIN EN 197-1:2000 Zement. Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2008. április havi számának 8-11. oldalán